

Низкодозная компьютерная томография органов грудной клетки в диагностике COVID-19: систематический обзор

И.А. Блохин, Д.А. Румянцев, М.М. Сучилова, А.П. Гончар, О.В. Омелянская

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий,
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Повышение числа исследований компьютерной томографии во время пандемии COVID-19 актуализировало задачу снижения лучевой нагрузки на пациента, так как воздействие радиационного излучения достоверно связано с повышением риска развития онкологических заболеваний. В работе отделений лучевой диагностики даже в условиях пандемии должен соблюдаться принцип минимальной дозы облучения при максимальном уровне качества диагностики — ALARA (as low as reasonably achievable), предложенный Международной комиссией по радиационной защите.

Цель — систематизация данных о возможностях снижения лучевой нагрузки при диагностике поражения лёгких при COVID-19 методом компьютерной томографии.

Материалы и методы. Проведён анализ релевантных отечественных и зарубежных источников литературы в научных библиотеках PubMed и eLIBRARY по запросам «low dose computed tomography COVID-19» и «низкодозная компьютерная томография COVID-19», опубликованных в период с 2020 по 2022 год. Публикации включались в обзор после оценки их соответствия теме обзора путём анализа названия и абстракта. Списки литературы также были проанализированы на предмет выявления пропущенных при поиске статей, попадающих под критерии включения.

Результаты. Изучение опубликованных результатов исследований позволило обобщить современные данные о лучевой диагностике поражения лёгких при COVID-19 и использовании компьютерной томографии, а также определить возможные варианты снижения дозы лучевой нагрузки.

Заключение. Представлены способы уменьшения лучевой нагрузки при компьютерной томографии органов грудной клетки и сохранения высокого качества диагностического изображения, потенциально достаточного для надёжного выявления признаков COVID-19. Снижение дозы облучения является оправданным подходом для получения актуальной диагностической информации, сохраняющим возможности внедрения технологий продвинутого компьютерного анализа в клиническую практику.

Ключевые слова: компьютерная томография; низкодозная компьютерная томография; обзор литературы; COVID-19; диагностика COVID-19.

Как цитировать

Блохин И.А., Румянцев Д.А., Сучилова М.М., Гончар А.П., Омелянская О.В. Низкодозная компьютерная томография органов грудной клетки в диагностике COVID-19: систематический обзор// *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4 № 1. С. XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

Рукопись получена: 22.12.2022 Рукопись одобрена: 06.02.2023 Опубликовано: 31.03.2023

Low-dose computed tomography in COVID-19: Literature review

Ivan A. Blokhin, Denis A. Rumyantsev, Maria M. Suchilova, Anna P. Gonchar, Olga V. Omelyanskaya

Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The increase in the number of computed tomography scans during the COVID-19 pandemic has emphasized the task of decreasing the radiation exposure of patients, since this exposure is known to be associated with an elevated risk of cancer development. The ALARA (as low as reasonably achievable) principle, proposed by the International Commission on Radiation Protection, should be adhered to in operation of radiation diagnostics departments, even during the pandemic.

AIM: to systematize data on the appropriateness and effectiveness of low-dose computed tomography in the diagnosis of lung lesions in COVID-19.

MATERIALS AND METHODS: Analysis of relevant national and foreign literature sources in scientific libraries PubMed and eLIBRARY, using English and Russian queries "low dose computed tomography COVID-19" published between 2020 and 2022. Publications were included in the review after assessing the relevance to the review topic by title and abstract analysis. The references were also analyzed to identify articles omitted during the search that might meet the inclusion criteria.

RESULTS: Studies published literature summarized the current data on the imaging of COVID-19 lung lesions and the use of computed tomography scans and identified possible options for reducing the effective dose.

CONCLUSION: We present techniques to reduce radiation exposure during chest computed tomography and to preserve high quality diagnostic images potentially sufficient for reliable detection of COVID-19 signs. Reducing radiation dose is a valid approach to obtain relevant diagnostic information, preserving opportunities for the introduction of advanced computational analysis technologies into clinical practice.

Keywords: computed tomography; low-dose computed tomography; literature review; COVID-19; COVID-19 diagnosis.

To cite this article

Blokhin IA, Rumyantsev DA, Suchilova MM, Gonchar AP, Omelyanskaya OV. Low-dose computed tomography in COVID-19: Systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023;X(X):XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

Received: 22.12.2022 Accepted: 06.02.2023 Published: 31.03.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Количество случаев заболевания новой коронавирусной инфекцией COVID-19 на момент написания статьи (22 декабря 2022 года) достигает 650 миллионов¹. Распространение заболевания и, соответственно, случаи смерти могут быть предупреждены и снижены благодаря комплексу мер, включающих раннюю диагностику².

¹ World Health Organization. Novel Coronavirus (COVID-19) situation. Режим доступа: <https://who.sprinklr.com>.

² Centers for Disease Control and Prevention. Corona virus 2019 disease (COVID-19). Режим доступа: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>.

Основным методом лабораторной диагностики является полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией. На первом пике коронавирусной пандемии обнаружили недостатки этого метода: высокая частота ложноположительных результатов, ограниченная доступность и длительность получения результатов [1]. При этом ложноотрицательные результаты могут быть получены у пациентов с признаками COVID-19 по данным компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки [2].

В соответствии с российскими [3] и международными³ рекомендациями, методами лучевой диагностики COVID-19-ассоциированной пневмонии являются в том числе рентгенография и КТ. Рентгенография органов грудной клетки обладает низкой чувствительностью в диагностике вирусных пневмоний [4], поэтому КТ играет важную роль в диагностике COVID-19-ассоциированной пневмонии и её осложнений [5].

Активное использование КТ во время пандемии создаёт проблему высокой радиационной нагрузки на население [6, 7]. За время пребывания в лечебном учреждении для оценки динамики заболевания пациенту в течение короткого промежутка времени выполняется от 2 до 6 КТ-исследований, поскольку чёткая тенденция к регрессии изменений по данным КТ является одним из критериев к выписке [3]. Лицам с подозрением на COVID-19 могут быть выполнены 1–2 КТ для выявления признаков заболевания в амбулаторных условиях [8, 9].

Воздействие радиационного излучения достоверно связано с повышением риска развития онкологических заболеваний [10]. В работе отделений лучевой диагностики даже в условиях пандемии должен соблюдаться принцип ALARA (as low as reasonably achievable — минимальная доза облучения при максимальном уровне качества диагностики), предложенный Международной комиссией по радиационной защите (International Commission of Radiological Protection) [11]. В марте 2020 года Z. Kang и соавт. предложили использовать низкодозную КТ (НДКТ) в качестве первого этапа лучевой диагностики проявлений коронавирусной пневмонии [6]. Важность использования НДКТ при COVID-19 подчеркнул и проведённый в апреле 2020 года вебинар «COVID-19 and Chest CT: Protocol and Dose Optimization», в котором приняли участие 1633 человека из 100 стран. В ходе видеоконференции было установлено, что 55% учреждений используют стандартные протоколы (CTDIvol 5–10 мГр), 43% — низкодозные протоколы (CTDIvol < 5 мГр), 2% — высокодозные (CTDIvol > 10 мГр) [12]. Однако даже поверхностное знакомство с рабочей станцией рентгенолаборанта показывает значительное количество параметров сканирования, влияющих на лучевую нагрузку [13], при этом взаимосвязь между различными настройками протокола и дозой облучения может быть неочевидной, особенно в зависимости от изучаемого патологического процесса.

Целью настоящего литературного обзора является систематизация данных о возможностях снижения лучевой нагрузки при КТ-диагностике поражения лёгких, обусловленного COVID-19.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён анализ релевантных отечественных и зарубежных источников литературы в научных библиотеках PubMed и eLIBRARY по запросам «low dose computed tomography COVID-19» и «низкодозная компьютерная томография COVID-19», опубликованных в период с 2020 по 2022 год.

Публикации включались в обзор после оценки их соответствия теме обзора путём анализа названия и абстракта. В обзор включали оригинальные исследования и метаанализы, исключали — обзоры литературы, клинические случаи, тезисы

³ World Health Organization. Use of chest imaging in COVID-19: A rapid advice guide [11 June 2020]. Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332336>.

конференций. Списки литературы также были проанализированы на предмет наличия релевантных исследований по общим принципам снижения лучевой нагрузки при КТ, которые могли быть опубликованы ранее 2020 года. При обнаружении схожих статей в обзор включали наиболее позднее исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего было проанализировано 45 статей иностранных авторов и 5 — отечественных. Последняя дата поиска — 22 декабря 2022 года.

Методы уменьшения дозы лучевой нагрузки

Методы снижения лучевой нагрузки, согласно проведённому обзору литературы, можно разделить на аппаратные и программные. К первым относятся напряжение трубки, сила тока трубки, питч-фактор, фильтрация рентгеновского пучка; ко вторым — фильтр реконструкции, толщина среза и итеративные реконструкции.

Аппаратные методы. Напряжение трубки (tube potential, kVp) нелинейно связано с лучевой нагрузкой [14]. F. Zarb и соавт. [15] показали, что снижение напряжения трубки на 14–17% приводит к снижению дозы облучения на 32–38%. Снижение напряжения трубки при этом приводит к повышению уровня шума на исследованиях без контраста: согласно результатам фантомного исследования, эти параметры связаны друг с другом через показатель степени -1,3 (минус одна целая три десятых) [16]. В то же время снижение напряжения трубки в исследованиях с контрастным усилением позволяет улучшить качество изображения, существенно понижая лучевую нагрузку [17].

Сила тока трубки (tube current, mAs) линейно связана с лучевой нагрузкой [18]. Например, уменьшение силы тока трубки на 50% приводит к уменьшению эффективной дозы на 50% [17], при этом отношение «сигнал–шум» обратно пропорционально квадратному корню силы тока [19].

Питч-фактор (pitch) на мультиспиральных компьютерных томографах практически не влияет на лучевую нагрузку [20]. При увеличении питч-фактора снижается отношение «сигнал–шум», и томограф автоматически увеличивает силу тока трубки для предотвращения ухудшения качества изображений [21].

Фильтрация пучка рентгеновского излучения используется для поглощения низкоэнергетических фотонов, не проходящих насквозь ткани пациента и не достигающих детекторов, поэтому использование дополнительного оловянного фильтра позволяет значительно снизить лучевую нагрузку при проведении КТ [22], но требует дополнительных затрат на модификацию сканера.

Программные методы. Выбор фильтра реконструкции (convolution kernel) не влияет на лучевую нагрузку, но оказывает воздействие на отношение «сигнал–шум», подчёркивая или сглаживая разницу между пикселями различных органов или структур [23].

Низкое значение толщины среза уменьшает качество изображения, при этом положительно влияет на риск пропуска патологических изменений малых размеров, поэтому толщину среза можно оптимизировать: например, для оценки лёгочных узлов этот показатель составляет 2 мм [24].

Основным же способом снижения «шума» являются итеративные реконструкции, позволяющие проводить КТ-исследования с более низкими дозами облучения и аналогичным соотношением «сигнал–шум» по сравнению со стандартной методикой реконструкции данных [25]. Одним из перспективных направлений является использование нейронных сетей для реконструкции изображений [26, 27].

На основании изученных литературных данных можно сделать вывод, что для снижения лучевой нагрузки целесообразно уменьшать силу тока трубки, а для оптимизации отношения «сигнал–шум» — использовать фильтр реконструкции, сглаживающий разницу между соседними пикселями (мягкотканый), и итеративную реконструкцию.

Низкодозная компьютерная томография в диагностике COVID-19

Результаты проведённого анализа литературы указывают на отсутствие единого, чётко определённого низкодозного протокола для COVID-19 (табл. 1 [28–54]). Выявлено, что снижение дозы лучевой нагрузки достигается преимущественно с помощью изменений напряжения трубки, силы тока трубки, использования итеративных реконструкций, оловянного фильтра. В ряде исследований, включённых в обзор, отмечены методологические недостатки в отношении представления результатов: не упоминаются дозиметрические показатели (CTDI, DLP, SSDE, эффективная доза), используются малые размеры выборок.

Интересно, что выбор параметра, изменяемого при оптимизации протокола сканирования, может быть универсальным для различных клинических задач. Так, при НДКТ для скрининга рака лёгкого разными группами авторов также производилось изменение тока трубки [55, 56], тем не менее разработку специализированного протокола НДКТ следует начинать с исследования на модельном объекте (фантоме) для выбора оптимального метода снижения нагрузки. Например, в исследовании В.А. Гомболевского и соавт. [57] по разработке НДКТ для диагностики COVID-19 использовался фантом с утолщающими пластинами, при этом был установлен уровень настройки системы автоматического контроля силы тока трубки (Sure Exposure 3D), достаточный для выявления очагов «матового стекла» при максимальном снижении лучевой нагрузки ($SD=36$). Сравнение выбранного по результатам фантомного исследования протокола со стандартной КТ и НДКТ для скрининга рака лёгкого представлено на рис. 1.

Следует учесть, что любые разработанные специализированные низкодозные протоколы требуют клинической валидации и сравнения с золотым стандартом. Так, проведены клинические испытания разработанного протокола НДКТ для COVID-19 с использованием стандартной КТ в качестве референс-теста [28]. Примеры клинических изображений по разработанному протоколу представлены на рис. 2 и 3.

Ограничения низкодозной компьютерной томографии

Согласно исследованию Y.K. Kim и соавт. [58], ограничением НДКТ органов грудной клетки в рутинной практике представляется ожирение (индекс массы тела >25) за счёт поглощения рентгеновского излучения жировой тканью. Однако результаты исследований согласованности оценки степени тяжести COVID-19 между экспертами указывают на обратное [59].

Другим общим ограничением НДКТ эмпирически представляется негативное влияние повышенного шума на изображениях на работу систем искусственного интеллекта, включая расчёт индекса эмфиземы при денситометрическом анализе [60], и радиомический анализ субсолидных лёгочных узлов [61]. Влияние протокола сканирования на результаты количественного анализа можно уменьшить путём использования относительных показателей, например процента поражённой лёгочной ткани при COVID-19 [62], или нормализации полученных данных специальными алгоритмами [63].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены способы уменьшения лучевой нагрузки при КТ органов грудной клетки и сохранения высокого качества диагностических изображений, гипотетически достаточного для надёжного выявления признаков COVID-19. Несмотря на отсутствие единого способа оптимизации протоколов сканирования, снижение дозы облучения является оправданным подходом, позволяющим получить релевантную диагностическую информацию и сохраняющим возможности для внедрения технологий продвинутого компьютерного анализа в клинические пути.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы (№ ЕГИСУ: АААА-А20-120071090058-7) в соответствии с Программой Департамента здравоохранения города Москвы «Научное обеспечение столичного здравоохранения» на 2020–2022 годы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: И.А. Блохин — редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка; Д.А. Румянцев — анализ данных, написание текста статьи; М.М. Сучилова, А.П. Гончар — редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи; О.В. Омелянская — концепция и дизайн исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a team of authors as part of the research work (EGISU number: АААА-А20-120071090058-7) in accordance with the Program of the Moscow Department of Health "Scientific support of metropolitan health" for 2020-2022.

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

Authors' contribution. 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. The largest contributions were distributed as follows: I.A. Blokhin - editing and approval of the final manuscript text, advisory support; D.A. Rumyantsev - data analysis, article text writing; M.M. Suchilova, A.P. Gonchar - editing and approval of the final manuscript text; A.P. O.V. Omelyanskaya - study concept and design.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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
2. Rubin G.D., Ryerson C.J., Haramati L.B., et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 Pandemic: A multinational consensus statement from the fleischner society // Radiology. 2020. Vol. 296, N 1. P. 172–180. doi: 10.1148/radiol.2020201365
3. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 12 (21.09.2021). Москва, 2021. 232 с.

4. Ng M., Lee E.Y., Yang J., et al. Imaging profile of the COVID-19 infection: Radiologic findings and literature review // *Radiology: Cardiothoracic Imaging*. 2020. Vol. 2, N 1. P. e200034. doi: 10.1148/ryct.2020200034
5. Ai T., Yang Z., Hou H., et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases // *Radiology*. 2020. Vol. 296, N 2. P. E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
6. Kang Z., Li X., Zhou S. Recommendation of low-dose CT in the detection and management of COVID-2019 // *European Radiology*. 2020. Vol. 30, N 8. P. 4356–4357. doi: 10.1007/s00330-020-06809-6
7. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В., и др. Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19 // *Digital Diagnostics*. 2020. Т. 1, № 1. С. 5–12. doi: 10.17816/DD51043
8. Pan F., Ye T., Sun P., et al. Time course of lung changes on chest CT during recovery from 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia // *Radiology*. 2020. Vol. 295, N 3. P. 715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370
9. Lei D.P., Fan B., Mao J., et al. The progression of computed tomographic (CT) images in patients with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia. Running title: The CT progression of COVID-19 pneumonia // *J Infect*. 2020. Vol. 80, N 6. P. e30–e31. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.020
10. Power S.P., Moloney F., Twomey M., et al. Computed tomography and patient risk: Facts, perceptions and uncertainties // *World J Radiol*. 2016. Vol. 8, N 12. P. 902–915. doi: 10.4329/wjr.v8.i12.902
11. Yeung A.W. The "As low as reasonably achievable" (ALARA) principle: A brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications // *Radioprotection*. 2019. Vol. 54, N 2. P. 103–109. doi: 10.1051/radiopro/2019016
12. Kalra M.K., Homayounieh F., Arru C., et al. Chest CT practice and protocols for COVID-19 from radiation dose management perspective // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 12. P. 6554–6560. doi: 10.1007/s00330-020-07034-x
13. Краснов А.С., Кабанов Д.О., Терещенко Г.В. Основы дозиметрии и оптимизации дозовой нагрузки при проведении мультиспиральной компьютерной томографии // *Вопросы гематологии, онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2018. Т. 17, № 3. С. 127–132.
14. Singh S., Kalra M.K., Thrall J.H., Mahesh M. CT radiation dose reduction by modifying primary factors // *J Am Coll Radiol*. 2011. Vol. 8, N 5. P. 369–372. doi: 10.1016/j.jacr.2011.02.001
15. Zarb F., Rainford L., McEntee M.F. Developing optimized CT scan protocols: Phantom measurements of image quality // *Radiography*. 2011. Vol. 17, N 2. P. 109–114. doi: 10.1016/j.radi.2010.10.004
16. Hiltz M., Duzenli C. Image noise in X-ray CT polymer gel dosimetry // *J Physics: Conference Series*. 2004. Vol. 3, N 1. P. 252. doi: 10.1088/1742-6596/3/1/040
17. Lira D., Padole A., Kalra M.K., Singh S. Tube potential and CT radiation dose optimization // *Am J Roentgenol*. 2015. Vol. 204, N 1. P. W4–W10. doi: 10.2214/AJR.14.13281
18. Reid J., Gamberoni J., Dong F., Davros W. Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: Is it best to base parameter selection on object circumference? // *AJR Am J Roentgenol*. 2010. Vol. 195, N 4. P. 1015–1020. doi: 10.2214/AJR.09.3862
19. Khoramian D., Sistani S., Firouzjah R.A. Assessment and comparison of radiation dose and image quality in multi-detector CT scanners in non-contrast head and neck examinations // *Paul J Radiol*. 2019. Vol. 84. P. 61–67. doi: 10.5114/pjr.2019.82743

20. Mahesh M., Scatarige J.C., Cooper J., Fishman E.K. Dose and pitch relationship for a particular multislice CT scanner // *AJR Am J Roentgenol.* 2001. Vol. 177, N 6. P. 1273–1275. doi: 10.2214/ajr.177.6.1771273
21. Tack D., Gevenois P.A., Abada H. Radiation dose from adult and pediatric multidetector computed tomography // Springer. 2007. doi: 10.1007/978-3-540-68575-3
22. Greffier J., Pereira F., Hamard A., et al. Effect of tin filter-based spectral shaping CT on image quality and radiation dose for routine use on ultralow-dose CT protocols: A phantom study // *Diagnostic and Interventional Imaging.* 2020. Vol. 101, N 6. P. 373–381. doi: 10.1016/j.diii.2020.01.002
23. Paul J., Krauss B., Banckwitz R., et al. Relationships of clinical protocols and reconstruction kernels with image quality and radiation dose in a 128-slice CT scanner: Study with an anthropomorphic and water phantom // *Eur J Radiology.* 2012. Vol. 81, N 5. P. e699–e703. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.01.078
24. Hashemi S., Mehrez H., Cobbold R.S., Paul N.S. Optimal image reconstruction for detection and characterization of small pulmonary nodules during low-dose CT // *Eur Radiol.* 2014. Vol. 24, N 6. P. 1239–1250. doi: 10.1007/s00330-014-3142-9
25. Beister M., Kolditz D., Kalender W.A. Iterative reconstruction methods in X-ray CT // *Physica Medica.* 2012. Vol. 28, N 2. P. 94–108. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.01.003
26. Shiri I., Akhavanallaf A., Sanaat A., et al. Ultra-low-dose chest CT imaging of COVID-19 patients using a deep residual neural network // *Eur Radiology.* 2021. Vol. 31, N 3. P. 1420–1431. doi: 10.1007/s00330-020-07225-6
27. Shan H., Padole A., Homayounieh F., et al. Competitive performance of a modularized deep neural network compared to commercial algorithms for low-dose CT image reconstruction // *Nat Machine Intelligence.* 2019. Vol. 1, N 6. P. 269–276. doi: 10.1038/s42256-019-0057-9
28. Blokhin I., Gombolevskiy V., Chernina V., et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 Pneumonia // *J Clin Med.* 2022. Vol. 11, N 669. doi: 10.3390/jcm11030669
29. Филатова Д.А., Сеницын В.Е., Мершина Е.А. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в легких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции // *Digital Diagnostics.* 2021. Т. 2, № 2. С. 94–104. doi: 10.17816/DD62477
30. Afshar P., Rafiee M.J., Naderkhani F., et al. Human-level COVID-19 diagnosis from low-dose CT scans using a two-stage time-distributed capsule network // *Sci Rep.* 2022. Vol. 12, N 1. P. 4827. doi: 10.1038/s41598-022-08796-8
31. Fukumoto W., Nakamura Y., Yoshimura K., et al. Triaging of COVID-19 patients using low dose chest CT: Incidence and factor analysis of lung involvement on CT images // *J Infect Chemother.* 2022. Vol. 28, N 6. P. 797–801. doi: 10.1016/j.jiac.2022.02.025
32. Bieba C.M., Desmet J.N., Dubbeldam A., et al. Radiological findings in low-dose CT for COVID-19 pneumonia in 182 patients: Correlation of signs and severity with patient outcome // *Medicine (Baltimore).* 2022. Vol. 101, N 9. P. e28950. doi: 10.1097/MD.00000000000028950
33. Piqueras B.M., Casajús E.A., Iriarte U.C., et al. Low-dose chest CT for preoperative screening for SARS-CoV-2 infection // *Radiologia (Engl.).* 2022. Vol. 64, N 4. P. 317–323. doi: 10.1016/j.rxeng.2021.11.004
34. Thieß H.M., Bressemer K.K., Adams L., et al. Do submillisievert-chest CT protocols impact diagnostic quality in suspected COVID-19 patients? // *Acta Radiol Open.* 2022. Vol. 11, N 1. P. 20584601211073864. doi: 10.1177/20584601211073864
35. Greffier J., Hoballah A., Sadate A., et al. Ultra-low-dose chest CT performance for the detection of viral pneumonia patterns during the COVID-19 outbreak period: A monocentric experience // *Quant Imaging Med Surg.* 2021. Vol. 11, N 7. P. 3190–3199. doi: 10.21037/qims-20-1176

36. Karakaş H.M., Yıldırım G., Çiçek E.D. The reliability of low-dose chest CT for the initial imaging of COVID-19: Comparison of structured findings, categorical diagnoses and dose levels // *Diagn Interv Radiol.* 2021. Vol. 27, N 5. P. 607–614. doi: 10.5152/dir.2021.20802
37. Finance J., Zieleskewicz L., Habert P., et al. Low dose chest CT and lung ultrasound for the diagnosis and management of COVID-19 // *J Clinic Med.* 2021. Vol. 10, N 10. P. 2196. doi: 10.3390/jcm10102196
38. Desmet J., Biebaû C., De Wever W., et al. Performance of low-dose chest CT as a triage tool for suspected COVID-19 patients // *J Belgian Society Radiology.* 2021. Vol. 105, N 1. P. 9. doi: 10.5334/jbsr.2319
39. Aslan S., Bekçi T., Çakır İ.M., et al. Diagnostic performance of low-dose chest CT to detect COVID-19: A Turkish population study // *Diagn Interv Radiol.* 2021. Vol. 27, N 2. P. 181–187. doi: 10.5152/dir.2020.20350
40. Stoleriu M.G., Gerckens M., Obereisenbuchner F., et al. Automated quantitative thin slice volumetric low dose CT analysis predicts disease severity in COVID-19 patients // *Clin Imaging.* 2021. Vol. 79. P. 96–101. doi: 10.1016/j.clinimag.2021.04.008
41. Bai L., Zhou J., Shen C., et al. Assessment of radiation doses and image quality of multiple low-dose CT exams in COVID-19 clinical management // *Chin J Acad Radiol.* 2021. Vol. 4, N 4. P. 257–261. doi: 10.1007/s42058-021-00083-4
42. Agostini A., Borgheresi A., Carotti M., et al. Third-generation iterative reconstruction on a dual-source, high-pitch, low-dose chest CT protocol with tin filter for spectral shaping at 100 kV: A study on a small series of COVID-19 patients // *Radiol Med.* 2021. Vol. 126, N 3. P. 388–398. doi: 10.1007/s11547-020-01298-5
43. Zali A., Sohrabi M.R., Mahdavi A., et al. Correlation between low-dose chest computed tomography and RT-PCR results for the diagnosis of COVID-19: A report of 27,824 cases in Tehran, Iran // *Acad Radiol.* 2021. Vol. 28, N 12. P. 1654–1661. doi: 10.1016/j.acra.2020.09.003
44. Argentieri G., Bellesi L., Pagnamenta A., et al. Diagnostic yield, safety, and advantages of ultra-low dose chest CT compared to chest radiography in early stage suspected SARS-CoV-2 pneumonia: A retrospective observational study // *Medicine (Baltimore).* 2021. Vol. 100, N 21. P. e26034. doi: 10.1097/MD.00000000000026034
45. Leger T., Jacquier A., Barral P.A., et al. Low-dose chest CT for diagnosing and assessing the extent of lung involvement of SARS-CoV-2 pneumonia using a semi quantitative score // *PLoS One.* 2020. Vol. 15, N 11. P. e0241407. doi: 10.1371/journal.pone.0241407
46. Hamper C.M., Fleckenstein F.N., Büttner L., et al. Submillisievert chest CT in patients with COVID-19: Experiences of a German Level-I center // *Eur J Radiol Open.* 2020. Vol. 7. P. 100283. doi: 10.1016/j.ejro.2020.100283
47. Li J., Wang X., Huang X., et al. Application of Care Dose 4D combined with Karl 3D technology in the low dose computed tomography for the follow-up of COVID-19 // *BMC Med Imaging.* 2020. Vol. 20, N 1. P. 56. doi: 10.1186/s12880-020-00456-5
48. Dangis A., Gieraerts C., De Bruecker Y., et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19 // *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2020. Vol. 2, N 2. P. e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
49. Radpour A., Bahrami-Motlagh H., Taaghi M.T., et al. COVID-19 evaluation by low-dose high resolution CT scans protocol // *Acad Radiol.* 2020. Vol. 27, N 6. P. 901. doi: 10.1016/j.acra.2020.04.016
50. Tonighi S., Najafi S., Johnston S.K., Gholamrezanezhad A. Low-dose CT in COVID-19 outbreak: Radiation safety, image wisely, and image gently pledge // *Emerg Radiol.* 2020. Vol. 27, N 6. P. 601–605. doi: 10.1007/s10140-020-01784-3
51. Tabatabaei S.M., Talari H., Gholamrezanezhad A., et al. A low-dose chest CT protocol for the diagnosis of COVID-19 pneumonia: A prospective study // *Emerg Radiol.* 2020. Vol. 27, N 6. P. 607–615. doi: 10.1007/s10140-020-01838-6

52. Schulze-Hagen M., Hübel C., Meier-Schroers M., et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19: A systematic, prospective comparison with PCR // *Dtsch Arztebl Int*. 2020. Vol. 117, N 22-23. P. 389–395. doi: 10.3238/arztebl.2020.0389
53. Zhao Y., Wang Y., Duan W., et al. Low-dose chest CT presentation and dynamic changes in patients with novel coronavirus disease 2019 // *Radiol Infect Dis*. 2020. Vol. 7, N 4. P. 186–194. doi: 10.1016/j.jrid.2020.08.001
54. Castelli M., Maurin A., Bartoli A., et al. Prevalence and risk factors for lung involvement on low-dose chest CT (LDCT) in a paucisymptomatic population of 247 patients affected by COVID-19 // *Insights Imaging*. 2020. Vol. 11, N 1. P. 117. doi: 10.1186/s13244-020-00939-7
55. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ветшева Н.Н., и др. Московский скрининг: скрининг рака легкого с помощью низкодозовой компьютерной томографии // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2019. Т. 27, № 5. С. 630–636. doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636
56. Патент РФ № 2701922 С1. Гомболевский В.А., Морозов С.П., Чернина В.Ю., и др. Способ скрининга рака легкого с помощью ультранизкодозной компьютерной томографии у пациентов с массой тела до 69 кг. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2701922C1/ru>. Дата обращения: 15.01.2023.
57. Gombolevskiy V., Morozov S., Chernina V., et al. A phantom study to optimise the automatic tube current modulation for chest CT in COVID-19 // *Eur Radiol Exp*. 2021. Vol. 5, N 1. P. 21. doi: 10.1186/s41747-021-00218-0
58. Kim Y.K., Lee B.E., Lee S.J., et al. Ultra-low-dose CT of the thorax using iterative reconstruction: Evaluation of image quality and radiation dose reduction // *Am J Roentgenol*. 2015. Vol. 204, N 6. P. 1197–1202. doi: 10.2214/AJR.14.13629
59. Блохин И.А., Гончар А.П., Коденко М.Р., и др. Влияние индекса массы тела на надёжность шкалы КТ0–4: сравнение протоколов компьютерной томографии // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 2. С. 108–118. doi: 10.17816/DD104358
60. Gierada D.S., Bierhals A.J., Choong C.K., et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification // *Academic Radiology*. 2010. Vol. 17, N 2. P. 146–156. doi: 10.1016/j.acra.2009.08.007
61. Gao Y., Hua M., Lv J., et al. Reproducibility of radiomic features of pulmonary nodules between low-dose CT and conventional-dose CT // *Quant Imaging Med Surg*. 2022. Vol. 12, N 4. P. 2368–2377. doi: 10.21037/qims-21-609
62. Blokhin I.A., Solovov A.V., Vladzmyrskiy AV., et al. Automated analysis of lung lesions in COVID-19: Comparison of standard and low-dose CT // *SJCEM*. 2023. Vol. 37, N 4. P. 114–123. doi: 10.29001/2073-8552-2022-37-4-114-123
63. Bak S.H., Kim J.H., Jin H., et al. Emphysema quantification using low-dose computed tomography with deep learning-based kernel conversion comparison // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 12. P. 6779–6787. doi: 10.1007/s00330-020-07020-3

REFERENCES

1. 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
2. Rubin GD, Ryerson CJ, Haramati LB, et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: A multinational consensus statement from the Fleischner society. *Radiology*. 2020;296(1):172–180. doi: 10.1148/radiol.2020201365
3. Temporary methodological recommendations prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 12 (09/21/2021). Moscow; 2021. 232 p.

4. Ng M, Lee EY, Yang J, et al. Imaging profile of the COVID-19 infection: Radiologic findings and literature review. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*. 2020;2(1):e200034. doi: 10.1148/ryct.2020200034
5. Ai T, Yang Z, Hou H, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases. *Radiology*. 2020;296(2):E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
6. Kang Z, Li X, Zhou S. Recommendation of low-dose CT in the detection and management of COVID-2019. *Eur Radiology*. 2020;30(8):4356–4357. doi: 10.1007/s00330-020-06809-6
7. Morozov SP, Kuzmina ES, Ledekhova NV, et al. Mobilization of the scientific and practical potential of the radiation diagnostics service of Moscow in the COVID-19 pandemic. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):5–12. (In Russ). doi: 10.17816/DD51043
8. Pan F, Ye T, Sun P, et al. Time course of lung changes on chest CT during recovery from 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia. *Radiology*. 2020;295(3):715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370
9. Lei DP, Fan B, Mao J, et al. The progression of computed tomographic (CT) images in patients with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: Running title: the CT progression of COVID-19 pneumonia. *J Infect*. 2020;80(6):e30–e31. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.020
10. Power SP, Moloney F, Twomey M, et al. Computed tomography and patient risk: Facts, perceptions and uncertainties. *World J Radiol*. 2016;8(12):902–915. doi: 10.4329/wjr.v8.i12.902
11. Yeung AW. The "As low as reasonably achievable" (ALARA) principle: A brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications. *Radioprotection*. 2019;54(2):103–109. doi: 10.1051/radiopro/2019016
12. Kalra MK, Homayounieh F, Arru C, et al. Chest CT practice and protocols for COVID-19 from radiation dose management perspective. *Eur Radiol*. 2020;30(12):6554–6560. doi: 10.1007/s00330-020-07034-x
13. Krasnov AS, Kabanov DO, Tereshchenko GV. Fundamentals of dosimetry and dose load optimization during multispiral computed tomography. *Issues Hematology Oncology Immunopathology Pediatrics*. 2018;17(3):127–132. (In Russ).
14. Singh S, Kalra MK, Thrall JH, Mahesh M. CT radiation dose reduction by modifying primary factors. *J Am Coll Radiol*. 2011;8(5):369–372. doi: 10.1016/j.jacr.2011.02.001
15. Zarb F, Rainford L, McEntee MF. Developing optimized CT scan protocols: Phantom measurements of image quality. *Radiography*. 2011;17(2):109–114. doi: 10.1016/j.radi.2010.10.004
16. Hilts M, Duzenli C. Image noise in X-ray CT polymer gel dosimetry. *J Physics: Conference Series*. 2004;3(1):252. doi: 10.1088/1742-6596/3/1/040
17. Lira D, Padole A, Kalra MK, Singh S. Tube potential and CT radiation dose optimization. *Am J Roentgenol*. 2015;204(1):W4–W10. doi: 10.2214/AJR.14.13281
18. Reid J, Gamberoni J, Dong F, Davros W. Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: Is it best to base parameter selection on object circumference? *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195(4):1015–1020. doi: 10.2214/AJR.09.3862
19. Khoramian D, Sistani S, Firouzjah RA. Assessment and comparison of radiation dose and image quality in multi-detector CT scanners in non-contrast head and neck examinations. *Paul J Radiol*. 2019;84:61–67. doi: 10.5114/pjr.2019.82743
20. Mahesh M, Scatarige JC, Cooper J, Fishman EK. Dose and pitch relationship for a particular multislice CT scanner. *AJR Am J Roentgenol*. 2001;177(6):1273–1275. doi: 10.2214/ajr.177.6.1771273
21. Tack D, Gevenois PA, Abada H. Radiation dose from adult and pediatric multidetector computed tomography. *Springer*. 2007. doi: 10.1007/978-3-540-68575-3
22. Greffier J, Pereira F, Hamard A, et al. Effect of tin filter-based spectral shaping CT on image quality and radiation dose for routine use on ultralow-dose CT protocols: A phantom

- study. *Diagnostic Interventional Imaging*. 2020;101(6):373–381. doi: 10.1016/j.diii.2020.01.002
23. Paul J, Krauss B, Banckwitz R, et al. Relationships of clinical protocols and reconstruction kernels with image quality and radiation dose in a 128-slice CT scanner: Study with an anthropomorphic and water phantom // *Eur J Radiology*. 2012;81(5):e699–e703. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.01.078
24. Hashemi S, Mehrez H, Cobbold RS, Paul NS. Optimal image reconstruction for detection and characterization of small pulmonary nodules during low-dose CT. *Eur Radiol*. 2014;24(6):1239–1250. doi: 10.1007/s00330-014-3142-9
25. Beister M, Kolditz D, Kalender WA. Iterative reconstruction methods in X-ray CT. *Physica Medica*. 2012;28(2):94–108. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.01.003
26. Shiri I, Akhavanallaf A, Sanaat A, et al. Ultra-low-dose chest CT imaging of COVID-19 patients using a deep residual neural network. *Eur Radiology*. 2021;31(3):1420–1431. doi: 10.1007/s00330-020-07225-6
27. Shan H, Padole A, Homayounieh F, et al. Competitive performance of a modularized deep neural network compared to commercial algorithms for low-dose CT image reconstruction. *Nat Machine Intelligence*. 2019;1(6):269–276. doi: 10.1038/s42256-019-0057-9
28. Blokhin I, Gombolevskiy V, Chernina V, et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 pneumonia. *J Clin Med*. 2022;11:669. doi: 10.3390/jcm11030669
29. Filatova DA, Sinitsyn VE, Merzhina EA. The possibilities of reducing radiation exposure during computed tomography to assess changes in the lungs characteristic of COVID-19: The use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. (In Russ). doi: 10.17816/DD62477
30. Afshar P, Rafiee MJ, Naderkhani F, et al. Human-level COVID-19 diagnosis from low-dose CT scans using a two-stage time-distributed capsule network. *Sci Rep*. 2022;12(1):4827. doi: 10.1038/s41598-022-08796-8
31. Fukumoto W, Nakamura Y, Yoshimura K, et al. Triaging of COVID-19 patients using low dose chest CT: Incidence and factor analysis of lung involvement on CT images. *J Infect Chemother*. 2022;28(6):797–801. doi: 10.1016/j.jiac.2022.02.025
32. Bieba CM, Desmet JN, Dubbeldam A, et al. Radiological findings in low-dose CT for COVID-19 pneumonia in 182 patients: Correlation of signs and severity with patient outcome. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(9):e28950. doi: 10.1097/MD.00000000000028950
33. Piqueras BM, Casajús EA, Iriarte UC, et al. Low-dose chest CT for preoperative screening for SARS-CoV-2 infection. *Radiologia (Engl Ed)*. 2022;64(4):317–323. doi: 10.1016/j.rxeng.2021.11.004
34. Thieß HM, Bressen KK, Adams L, et al. Do submillisievert-chest CT protocols impact diagnostic quality in suspected COVID-19 patients? *Acta Radiol Open*. 2022;11(1):20584601211073864. doi: 10.1177/20584601211073864
35. Greffier J, Hoballah A, Sadate A, et al. Ultra-low-dose chest CT performance for the detection of viral pneumonia patterns during the COVID-19 outbreak period: A monocentric experience. *Quant Imaging Med Surg*. 2021;11(7):3190–3199. doi: 10.21037/qims-20-1176
36. Karakaş HM, Yıldırım G, Çiçek ED. The reliability of low-dose chest CT for the initial imaging of COVID-19: Comparison of structured findings, categorical diagnoses and dose levels. *Diagn Interv Radiol*. 2021;27(5):607–614. doi: 10.5152/dir.2021.20802
37. Finance J, Zieleskewicz L, Habert P, et al. Low dose chest CT and lung ultrasound for the diagnosis and management of COVID-19. *J Clin Med*. 2021;10(10):2196. doi: 10.3390/jcm10102196
38. Desmet J, Biebaû C, De Wever W, et al. Performance of low-dose chest CT as a triage tool for suspected COVID-19 patients. *J Belgian Society Radiology*. 2021;105(1):9. doi: 10.5334/jbsr.2319

39. Aslan S, Bekçi T, Çakır İM, et al. Diagnostic performance of low-dose chest CT to detect COVID-19: A Turkish population study. *Diagn Interv Radiol*. 2021;27(2):181–187. doi: 10.5152/dir.2020.20350
40. Stoleriu MG, Gerckens M, Obereisenbuchner F, et al. Automated quantitative thin slice volumetric low dose CT analysis predicts disease severity in COVID-19 patients. *Clin Imaging*. 2021;79:96–101. doi: 10.1016/j.clinimag.2021.04.008
41. Bai L, Zhou J, Shen C, et al. Assessment of radiation doses and image quality of multiple low-dose CT exams in COVID-19 clinical management. *Chin J Acad Radiol*. 2021;4(4):257–261. doi: 10.1007/s42058-021-00083-1
42. Agostini A, Borgheresi A, Carotti M, et al. Third-generation iterative reconstruction on a dual-source, high-pitch, low-dose chest CT protocol with tin filter for spectral shaping at 100 kV: A study on a small series of COVID-19 patients. *Radiol Med*. 2021;126(3):388–398. doi: 10.1007/s11547-020-01298-5
43. Zali A, Sohrabi MR, Mahdavi A, et al. Correlation between low-dose chest computed tomography and RT-PCR results for the diagnosis of COVID-19: A report of 27,824 cases in Tehran, Iran. *Acad Radiol*. 2021;28(12):1654–1661. doi: 10.1016/j.acra.2020.09.003
44. Argentieri G, Bellesi L, Pagnamenta A, et al. Diagnostic yield, safety, and advantages of ultra-low dose chest CT compared to chest radiography in early stage suspected SARS-CoV-2 pneumonia: A retrospective observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(21):e26034. doi: 10.1097/MD.00000000000026034
45. Leger T, Jacquier A, Barral PA, et al. Low-dose chest CT for diagnosing and assessing the extent of lung involvement of SARS-CoV-2 pneumonia using a semi quantitative score. *PLoS One*. 2020;15(11):e0241407. doi: 10.1371/journal.pone.0241407
46. Hamper CM, Fleckenstein FN, Büttner L, et al. Submillisievert chest CT in patients with COVID-19: experiences of a German Level-I center. *Eur J Radiol Open*. 2020;7:100283. doi: 10.1016/j.ejro.2020.100283
47. Li J, Wang X, Huang X, et al. Application of Care Dose 4D combined with Karl 3D technology in the low dose computed tomography for the follow-up of COVID-19. *BMC Med Imaging*. 2020;20(1):56. doi: 10.1186/s12880-020-00456-5
48. Dangis A, Gieraerts C, De Bruecker Y, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020;2(2):e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
49. Radpour A, Bahrami-Motlagh H, Taaghi MT, et al. COVID-19 evaluation by low-dose high resolution CT scans protocol. *Acad Radiol*. 2020;27(6):901. doi: 10.1016/j.acra.2020.04.016
50. Tofighi S, Najafi S, Johnston SK, Gholamrezanezhad A. Low-dose CT in COVID-19 outbreak: Radiation safety, image wisely, and image gently pledge. *Emerg Radiol*. 2020;27(6):601–605. doi: 10.1007/s10140-020-01784-3
51. Tabatabaei SM, Talari H, Gholamrezanezhad A, et al. A low-dose chest CT protocol for the diagnosis of COVID-19 pneumonia: A prospective study. *Emerg Radiol*. 2020;27(6):607–615. doi: 10.1007/s10140-020-01838-6
52. Schulze-Hagen M, Hübel C, Meier-Schroers M, et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19: A systematic, prospective comparison with PCR. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117(22-23):389–395. doi: 10.3238/arztebl.2020.0389
53. Zhao Y, Wang Y, Duan W, et al. Low-dose chest CT presentation and dynamic changes in patients with novel coronavirus disease 2019. *Radiol Infect Dis*. 2020;7(4):186–194. doi: 10.1016/j.jrid.2020.08.001
54. Castelli M, Maurin A, Bartoli A, et al. Prevalence and risk factors for lung involvement on low-dose chest CT (LDCT) in a paucisymptomatic population of 247 patients affected by COVID-19. *Insights Imaging*. 2020;11(1):117. doi: 10.1186/s13244-020-00939-7

55. Morozov SP, Kuzmina ES, Vetsheva NN, et al. Moscow screening: screening of lung cancer using low-dose computed tomography. *Problems Social Hygiene Healthcare History Med.* 2019;27(S):630–636. (In Russ). doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636
56. Patent RUS No. 2701922 C1. Gombolevsky VA, Morozov SP, Chernina VYu, et al. A method for screening lung cancer using ultra-low-dose computed tomography in patients with a body weight of up to 69 kg. mode: Available from: <https://patents.google.com/patent/RU2701922C1/ru>. Accessed: 15.01.2023.
57. Gombolevskiy V, Morozov S, Chernina V, et al. A phantom study to optimise the automatic tube current modulation for chest CT in COVID-19. *Eur Radiol Exp.* 2021;5(1):21. doi: 10.1186/s41747-021-00218-0
58. Kim YK, Lee BE, Lee SJ, et al. 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. doi: 10.2214/AJR.14.13629
59. Blokhin IA, Gonchar AP, Kotenko MR, et al. The influence of body mass index on the reliability of the 0–4 CT scale: Comparison of computed tomography protocols. *Digital Diagnostics.* 2022;3(2):108–118. (In Russ). doi: 10.17816/DD104358
60. Gierada DS, Bierhals AJ, Choong CK, et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification. *Academic Radiology.* 2010;17(2):146–156. doi: 10.1016/j.acra.2009.08.007
61. Gao Y, Hua M, Lv J, et al. Reproducibility of radiomic features of pulmonary nodules between low-dose CT and conventional-dose CT. *Quant Imaging Med Surg.* 2022;12(4):2368–2377. doi: 10.21037/qims-21-609
62. Blokhin IA, Solovev AV, Vladzimirskiy AV, et al. Automated analysis of lung lesions in COVID-19: Comparison of standard and low-dose CT. *SJCEM.* 2023;37(4):114–123. (In Russ). doi: 10.29001/2073-8552-2022-37-4-114-123
63. Bak SH, Kim JH, Jin H, et al. Emphysema quantification using low-dose computed tomography with deep learning-based kernel conversion comparison. *Eur Radiol.* 2020;30(12):6779–6787. doi: 10.1007/s00330-020-07020-3

ОБ АВТОРАХ	AUTHORS' INFO
<p>* Блохин Иван Андреевич; адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2681-9378; eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: BlokhinIA@zdrav.mos.ru</p>	<p>* Ivan A. Blokhin; address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2681-9378; eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: BlokhinIA@zdrav.mos.ru</p>
<p>Румянцев Денис Андреевич; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7670-7385; eLibrary SPIN: 8734-2085; e-mail: x.radiology@mail.ru</p>	<p>Denis A. Rumyantsev; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7670-7385; eLibrary SPIN: 8734-2085; e-mail: x.radiology@mail.ru</p>
<p>Сучилова Мария Максимовна; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1117-0294; eLibrary SPIN: 4922-1894; e-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru</p>	<p>Maria M. Suchilova; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1117-0294; eLibrary SPIN: 4922-1894; e-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru</p>
<p>Гончар Анна Павловна; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5161-6540; eLibrary SPIN: 3513-9531; e-mail: GoncharAP@zdrav.mos.ru</p>	<p>Anna P. Gonchar; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5161-6540; eLibrary SPIN: 3513-9531; e-mail: GoncharAP@zdrav.mos.ru</p>

Омелянская Ольга Васильевна; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0245-4431 ; eLibrary SPIN: 8948-6152; e-mail: OmelyanskayaOV@zdrav.mos.ru	Olga V. Omelyanskaya; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0245-4431 ; eLibrary SPIN: 8948-6152; e-mail: OmelyanskayaOV@zdrav.mos.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	

ARTICLE IN PRESS

Таблица 1. Параметры низкодозной компьютерной томографии в диагностике COVID-19 по результатам литературного обзора

Автор, год, ссылка	Напряжение трубки, кВ	Сила тока трубки, мАс	Средняя доза облучения, мЗв	Толщина среза, мм	Фильтр реконструкции	Использование итеративной реконструкции
Блохин и др. (2022) [28]	120	10–500, уровень шума 36 (SD)	3	1	FC51, FC07	Нет
Филатова и др. (2020) [29]	100/110	40–120	1,27	1	-	Да
Afshar и др. (2022) [30]	110	20	1–1,5	2	D40s	-
Fukumoto и др. (2022) [31]	120	20–25	CTDI 1,3 мГр	5	Lung and soft tissue	-
Vieba и др. (2022) [32]	Зависит от веса	Зависит от веса	-	1 и 3	-	-
Barrio и др. (2022) [33]	100/150	Антропоморфная система модуляции тока	-	1	Br32 Bl60	-
Thieß и др. (2022) [34]	100	10–100	0,53	0,5 b 0,625	Fc01 Fc85	Да
Greffier и др. (2021) [35]	100/120	10	0,2	1	I30f, mediastinal, I50f, lung images	Да
Karakaş и др. (2021), [36]	80	40	0,18	5	lung	Да
Julie и др. (2021) [37]	120	45	-	1,2	-	-
Desmet и др. (2021) [38]	80–140	20–30	0,64	0,6	-	-
Aslan и др. (2021) [39]	80	35–50	0,2856	3	lung	Да
Stoleriu и др. (2021) [40]	120	40–113	35–100 мГр×см 0,78–2,91 мГр	1,25	Medium Soft	Да
Bai и др. (2021) [41]	120	120–380	1,21±0,10	1,25	Standard	Да
Agostini и др. (2021) [42]	100	95	0,39	1,5	Sharp	Да
Zali и др. (2021) [43]	100–120	50–100	-	1–3	-	-
Argentieri и др. (2021) [44]	80	20	0,219	2	Sharp	-
Leger и др. (2020) [45]	120	45	0,49	1,2	-	-
Hamper и др. (2020) [46]	100	20–120	0,5	0,625–1	Lung	Да
Li и др. (2020) [47]	120	30	1,22±0,14	1	-	Да
Dangis и др. (2020) [48]	100	20	0,56	1	Lung (150f)	Да
Kadpour и др. (2020) [49]	100–120	50–100	-	1–3	-	-
Kang и др. (2020) [6]	80–100	10–25	0,203	0,6	-	Да
Tofighi и др.	100	40	2,03	-	-	Нет

(2020) [50]						
Tabatabaei и др. (2020) [51]	120	30	1,8	3	-	-
Schulze-Hagen и др. (2020) [52]	80	35	1,7	1 и 3	170f 130f	-
Zhao Yue и др. (2020) [53]	100	50	1,5	1	-	-
Castelli и др. (2020) [54]	120	45	0,47	1,2	-	-

ARTICLE IN PRESS



Рис. 1. Сравнение специализированного протокола низкодозной компьютерной томографии для COVID-19 (SD=36) со стандартной компьютерной томографией и низкодозной компьютерной томографией для скрининга рака лёгкого. Информация о лучевой нагрузке и аксиальные томограммы фантома на уровне нижних и средних зон лёгких. Низкодозная компьютерная томография для скрининга рака лёгкого разработана с учётом ограничения лучевой нагрузки для профилактических мероприятий по СанПин и имеет наименьшее отношение «сигнал-шум». Разработанный протокол низкодозной компьютерной томографии для COVID-19 учитывает денситометрические характеристики «матовых стёкол» при существенном снижении лучевой нагрузки.

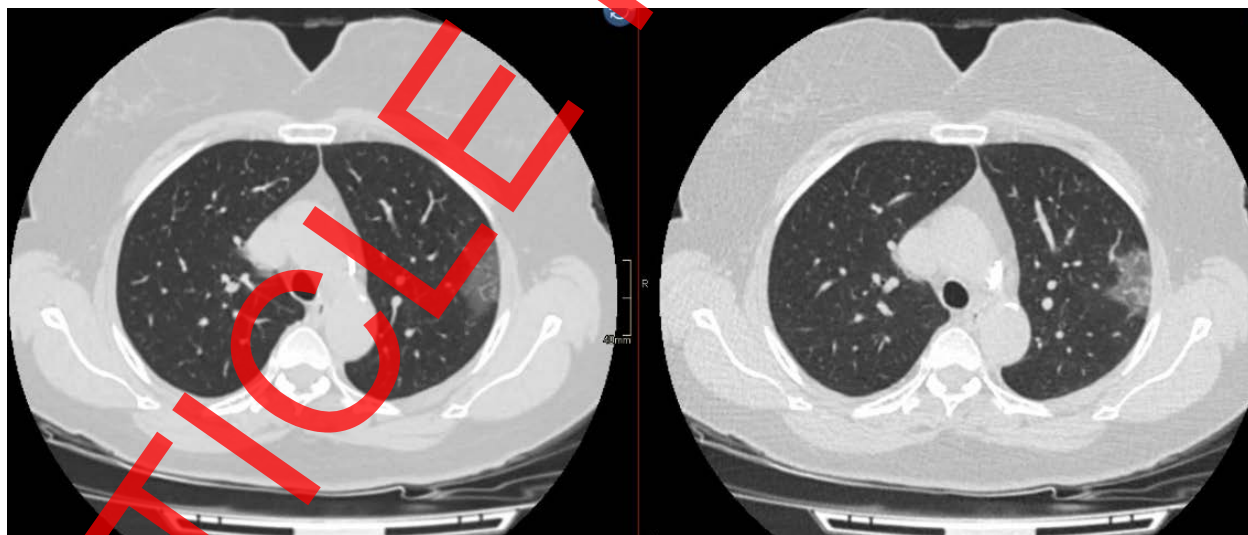


Рис. 2. Снижение лучевой нагрузки в 5 раз. Пациентка, 59 лет, индекс массы тела 29 кг/м². Компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 9,7 мЗв), низкодозная компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 2,1 мЗв). В верхней доле левого лёгкого периферическая зона «матового стекла».

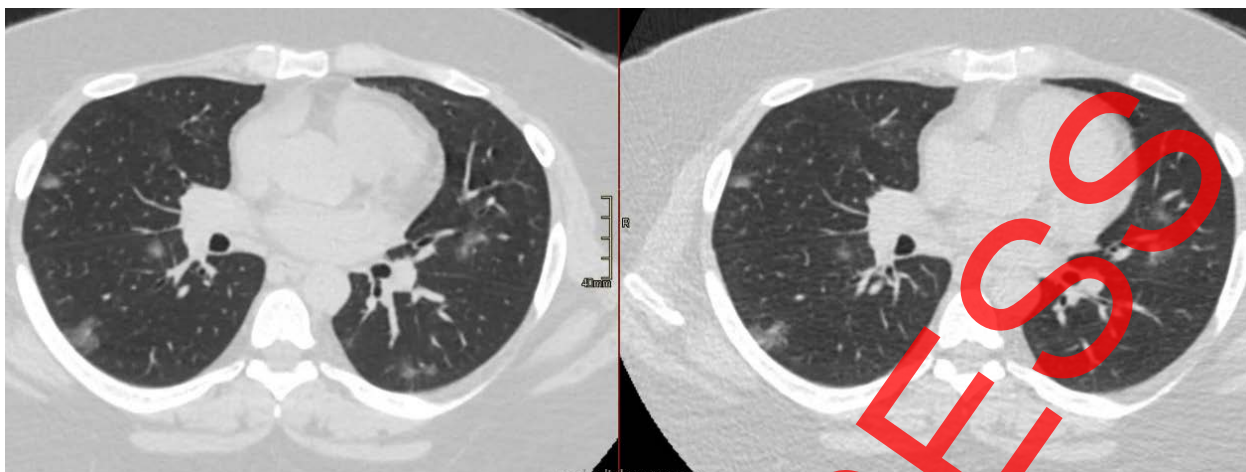


Рис. 3. Снижение лучевой нагрузки в 1,5 раза. Пациент, 44 года, индекс массы тела 46 кг/м². Компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 15,3 мЗв), низкодозная компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 10,5 мЗв). Двусторонние периферические участки «матового стекла».

ARTICLE IN PRESS