

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-4-114-123>
УДК: 616.98:578.834.1-036.21-06:616.24-073.756.8

Автоматический анализ поражения легких при COVID-19: сравнение стандартной и низкодозной компьютерной томографии

И.А. Блохин¹, А.В. Соловьев¹, А.В. Владзимирский¹, М.Р. Коденко^{1, 3},
Ю.Ф. Шумская^{1, 4}, А.П. Гончар¹, В.А. Гомболевский²

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 127051, Российская Федерация, Москва, ул. Петровка, 24, стр. 1

² Институт искусственного интеллекта (AIRI), 105064, Российская Федерация, Москва, р. 19, Нижний Сусальный пер., 5

³ Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 105005, Российская Федерация, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, к. 1

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), 119991, Российская Федерация, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

Аннотация

Введение. В определении степени поражения легочной паренхимы при COVID-19 особую роль играет метод компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки (ОГК). При этом субъективность оценки объема поражения легких по шкале КТ 0–4 при COVID-19 и постепенное внедрение низкодозной КТ (НДКТ) требуют изучения точности полуавтоматической сегментации легких при НДКТ по сравнению с КТ.

Цель исследования: сравнить точность расчета объема пораженной легочной ткани между КТ и НДКТ при COVID-19 с помощью полуавтоматической программы сегментации.

Материал и методы. Ретроспективное исследование выполнено на данных ранее проведенного проспективного многоцентрового исследования, зарегистрированного на ClinicalTrials.gov, NCT04379531. Данные КТ и НДКТ обработаны в программе 3D Slicer с расширениями Lung CT Segmenter и Lung CT Analyzer, пороговым методом определены объем легких и объем пораженной легочной ткани.

Результаты. Выборка 84 пациента с признаками COVID-19-ассоциированной пневмонии. Средний возраст составил $50,6 \pm 13,3$ лет, медиана индекса массы тела – $28,15 \text{ кг/м}^2$ [24,85; 31,31]. Для стандартного протокола КТ эффективная доза составила $10,1 \pm 3,26 \text{ мЗв}$, для разработанного протокола НДКТ – $2,64 \text{ мЗв}$ [1,99; 3,67]. При анализе абсолютных значений объема поражения легочной ткани в кубических сантиметрах между КТ и НДКТ с помощью критерия Вилкоксона выявлены статистически значимые различия ($p\text{-value} < 0,001$). При анализе процента поражения легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких) между КТ и НДКТ критерий Вилкоксона статистически значимых различий не выявил ($p\text{-value} = 0,95$).

Заключение. Надежность разработанного протокола НДКТ для пациентов с COVID-19 при полуавтоматическом расчете процента пораженной ткани в 3D Slicer с расширениями Lung CT Segmenter и Lung CT Analyzer сравнима со стандартным протоколом КТ ОГК.

Ключевые слова:	компьютерная томография, COVID-19, грудная клетка, полуавтоматическая сегментация, низкодозная компьютерная томография.
Конфликт интересов:	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Прозрачность финансовой деятельности:	никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.
Соответствие принципам этики:	получено одобрение в независимом этическом комитете Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов (МРО РОРР), протокол заседания от № 03/2020. Все пациенты подписали одобренное НЭК информированное добровольное согласие на проведение сканирования по двум протоколам за одно посещение кабинета компьютерной томографии.

Шумская Юлия Федоровна, yu.shumskaia@npcmr.ru.

Для цитирования:

Блохин И.А., Соловьев А.В., Владимирский А.В., Коденко М.Р., Шумская Ю.Ф., Гончар А.П., Гомболевский В.А. Автоматический анализ поражения легких при COVID-19: сравнение стандартной и низкодозной компьютерной томографии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2022;37(4):114–123. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-4-113-123>.

Automated analysis of lung lesions in COVID-19: comparison of standard and low-dose CT

Ivan A. Blokhin¹, Alexander V. Solovlev¹, Anton V. Vladzimirskyy¹,
Maria R. Kodenko^{1,3}, Yuliya F. Shumskaya^{1,4}, Anna P. Gonchar¹,
Victor A. Gomboleviskiy²

¹ Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department, 24, p. 1, Petrovka str., Moscow, 127051, Russian Federation

² Artificial Intelligence Research Institute (AIRI), 5, Nizhniy Susalny lane, p. 19, Moscow, 105064, Russian Federation

³ Bauman Moscow State Technical University, 5, 2nd Baumanskaya str., bldg. 1, Moscow, 105005, Russian Federation

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 8, Trubetskaya str., p. 2, Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract

Introduction. Chest computed tomography (CT) plays a prominent role in determining the extent of pulmonary parenchymal lesions in COVID-19. At the same time, subjectivity of lung lesion volume assessment using 0-4 CT scale in COVID-19 and gradual introduction of low-dose CT (LDCT) requires an investigation of semi-automated lung segmentation accuracy in LDCT compared to CT.

Study Objective. To compare the accuracy of affected lung tissue volume calculation between CT and LDCT in COVID-19 using a semi-automatic segmentation program.

Material and Methods. The retrospective study was performed on data from the earlier prospective multicenter study registered at ClinicalTrials.gov, NCT04379531. CT and LDCT data were processed in 3D Slicer software with Lung CT Segmenter and Lung CT Analyzer extensions, and the volume of affected lung tissue and lung volume were determined by thresholding.

Results. The sample size was 84 patients with signs of COVID-19-associated pneumonia. Mean age was 50.6 ± 13.3 years, and the median body mass index (BMI) was $28.15 [24.85; 31.31]$ kg/m². The effective doses were 10.1 ± 3.26 mSv for the standard CT protocol and 2.64 mSv [$1.99; 3.67$] for the developed LDCT protocol. The analysis of absolute lung lesion volume in cubic centimeters with Wilcoxon Signed Ranks Test revealed a statistically significant difference between CT and LDCT (p -value < 0.001). No statistically significant differences were found in the relative values of lung tissue lesion volume (lesion volume/lung volume) between CT and LDCT using Wilcoxon Signed Ranks Test (p -value = 0.95).

Conclusion. The reliability of developed LDCT protocol in COVID-19 for the semi-automated calculation of affected tissue percentage was comparable to the standard chest CT protocol when using 3D Slicer with Lung CT Segmenter and Lung CT Analyzer extensions.

Keywords:

computed tomography, COVID-19, thorax, semi-automatic segmentation, low-dose computed tomography.

Conflict of interest:

the authors do not declare a conflict of interest.

Financial disclosure:

no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Adherence to ethical standards:

study was approved by the Independent Ethics Committee of the Moscow Regional Branch of the Russian Society of Radiologists and Radiographers, Protocol No. 03/2020. All patients signed an informed consent form to be scanned using two protocols per visit to the clinic.

For citation:

Blokhin I.A., Solovlev A.V., Vladzimirskyy A.V., Kodenko M.R., Shumskaya Y.F., Gonchar A.P., Gomboleviskiy V.A. Automated analysis of lung lesions in COVID-19: Comparison of standard and low-dose CT. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2022;37(4):114–123. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-4-113-123>.

Введение

Всемирная организация здравоохранения 11 марта 2020 г. объявила пандемию COVID-19 [1]. На данный момент золотым стандартом диагностики COVID-19 является полимеразная цепная реакция (ПЦР) мазка из носо- и ротоглотки [2], но анализ может быть ложноотрицательным [3]. Важнейшую роль в диагностике COVID-19 взяла на себя компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки (ОГК), позволяющая установить вероятность наличия заболевания [4–6]. Данный метод также актуален для оценки динамики заболевания и выявления осложнений [7]. Таким образом, КТ ОГК является важным методом визуализации легких для оценки объема их поражения у пациентов с COVID-19 [8].

Единственными ранними КТ-признаками, указывающими на COVID-19, являются участки матового стекла в задних и периферических отделах легких [9–11]. На данный момент на территории Российской Федерации применяется визуальная полуколичественная шкала оценки поражения легочной паренхимы КТ 0–4, при этом принята следующая градация процента поражения легочной ткани: КТ 0 – отсутствие признаков поражения легких, КТ 1 – < 25%, КТ 2 – 25–50%, КТ 3 – 50–75%, КТ 4 – > 75% поражения [12]. При этом врачи-рентгенологи часто сталкиваются с проблемой измерения объема поражения легких при COVID-19, так как визуальный способ оценки субъективен [13].

Из-за массового использования КТ ОГК в период борьбы с COVID-19 [14] возникла необходимость применения низкодозных протоколов, для уменьшенной дозовой нагрузки на организм пациента при сохранении диагностической ценности исследования [15, 16]. Так, по результатам проспективного исследования Н. Sakane и соавт. НДКТ не ассоциирована с повреждениями ДНК, в отличие от стандартной КТ, после которой увеличивалось количество двуниевых разрывов ДНК и хромосомных aberrаций [17].

В обзоре литературы S. Tofighi и соавт. [18] и в проспективных исследованиях [3, 19–22] изучалось использование НДКТ при COVID-19 и был сделан вывод, что НДКТ имеет сопоставимую со стандартной КТ эффективность в диагностике признаков COVID-19-ассоциированной пневмонии. Однако применение НДКТ чревато увеличением шумовой составляющей и снижением отношения «сигнал – шум» [23]. В ряде исследований отмечено негативное влияние уменьшения отношения «сигнал – шум», связанного с использованием НДКТ, на точность автоматической оценки эмфиземы легких путем оценки денситометрических показателей вокселей, то есть пороговым методом [24, 25]. Предложено несколько решений, в том числе алгоритмы искусственного интеллекта для улучшения качества изображения [26, 27]. Однако использование алгоритмов сегментации и точность обработки данных НДКТ при COVID-19 требует дополнительного изучения.

Цель исследования: сравнить точность полуавтоматической сегментации объема поражения легочной ткани между стандартным протоколом КТ ОГК и разработанным протоколом НДКТ ОГК при COVID-19.

Гипотезы исследования

Отсутствуют статистически значимые различия между абсолютным объемом поражения легочной ткани, сегментированной полуавтоматическим методом, между стандартным протоколом КТ и разработанным протоколом НДКТ с мягкотканым керналом.

Отсутствуют статистически значимые различия между процентом поражения легочной ткани, сегментированной полуавтоматическим методом, между КТ и НДКТ с мягкотканым керналом.

Материал и методы

Пациенты

Ретроспективное исследование выполнено на материалах ранее проведенного проспективного многоцентрового исследования «LDCT in COVID-19 Pneumonia: a Prospective Moscow Study», зарегистрированного в международной базе данных «ClinicalTrials.gov», NCT04379531 25-04-2020 [22]. Получено одобрение в независимом этическом комитете Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов (МРО РОРР), протокол заседания от № 03/2020.

Все пациенты подписали одобренное независимым этическим комитетом информированное добровольное согласие на проведение двух лучевых методов исследования за одно посещение кабинета компьютерной томографии, с информированием о суммарной более высокой лучевой нагрузке и возможной низкой диагностической ценности одного из исследований.

В исследование включены пациенты, направленные для выполнения КТ ОГК в медицинские организации города Москвы в связи с подозрением на COVID-19-ассоциированную пневмонию.

Протокол сканирования

Всем пациентам проведена одномоментная КТ ОГК на аппаратах Toshiba Aquilion 64 (Canon, Япония) с использованием стандартного протокола КТ ОГК, представленного производителем, и разработанного низкодозного протокола для COVID-19 [28].

Низкодозный протокол КТ для COVID-19 реализован путем настройки стандартной для данной модели томографа системы SUREExposure 3D, модулирующей ток трубки в угловом и продольном направлениях. При этом учитываются указанный пользователем параметр качества изображения (шум изображения, выраженный в виде стандартного отклонения [SD]) и общая рентгеновская плотность пациента [29]. Для НДКТ ток автоматически регулировался по всей длине сканирования в пределах 10–500 мА при том, что уровень шума при срезах 5,0 мм составлял 36 (стандартное отклонение [SD]).

Для КТ ОГК ток автоматически регулировался по всей длине сканирования в пределах 40–500 мА при условии, что уровень шума при срезах 5,0 мм составлял 10 (стандартное отклонение).

Дополнительные параметры сканирования (одинаковые как для стандартной КТ, так и для НДКТ): напряжение – 120 кВ; время вращения – 0,5 с; направление – наружу (от ног к голове); модуляция XY – включена; коллимация – 64*0,5 мм; шаг спирали – 53,0; сканирование проводится на пиковой глубине вдоха; время сканирования – в среднем 6 с (зависит от индивидуальных конституциональных особенностей пациента). Исследования проводились без контрастного усиления.

Реконструкция изображений

Реконструкция изображений идентична для стандартной КТ и НДКТ. Параметры реконструкции: матрица 512*512; D-FOV – 350 мм; длина сканирования – 300 мм (в зависимости от индивидуальных особенностей тело-

сложения); ядро (кERNEL) реконструкции – FC51 (легкие) и FC07 (мягкие ткани); толщина среза – 1,0 мм; инкремент – 1,0 мм. Для автоматического анализа использовались изображения, реконструированные с мягкотканым ядром FC07, поскольку использование легочного ядра может искажать количественный денситометрический анализ [30].

Полуавтоматический анализ объема пораженной ткани

Полуавтоматическая сегментация объема пораженной легочной ткани при COVID-19, по данным КТ и НДКТ, проводилась с использованием 3D Slicer 4.11.20210226 revision 29738 built 2021-03-01 на операционной системе Windows 10 с использованием расширений (модулей) Lung CT Segmenter и Lung CT Analyzer, версий 2.36. Платформа 3D Slicer [31] широко используется для обработки медицинских изображений [32]. Lung CT Segmenter и Analyzer – это расширения 3D Slicer для сегментации и пространственной реконструкции инфильтрированных

участков легких на основе заданных пороговых значений КТ-плотности (HU) [33].

На первом этапе обработки данных для сегментации легких было использовано расширение Lung CT Segmenter, где выполнена разметка легких и трахеи посредством установки семи «меток» (шесть на легкое и одна на просвет трахеи). Общий объем затраченного времени на сегментацию легких с данным расширением составил до 60 с на одно исследование. На втором этапе полученная после сегментации маска легких загружалась в Lung CT Analyzer для автоматической сегментации объема пораженной легочной ткани по заданным стандартным порогам КТ-плотности. Общий объем затраченного времени с данным расширением на одно исследование составил до 10 с (рис. 1).

Был выполнен статистический анализ сопоставимости объема поражения легких между стандартным протоколом КТ и разработанным протоколом НДКТ всех успешно обработанных случаев.

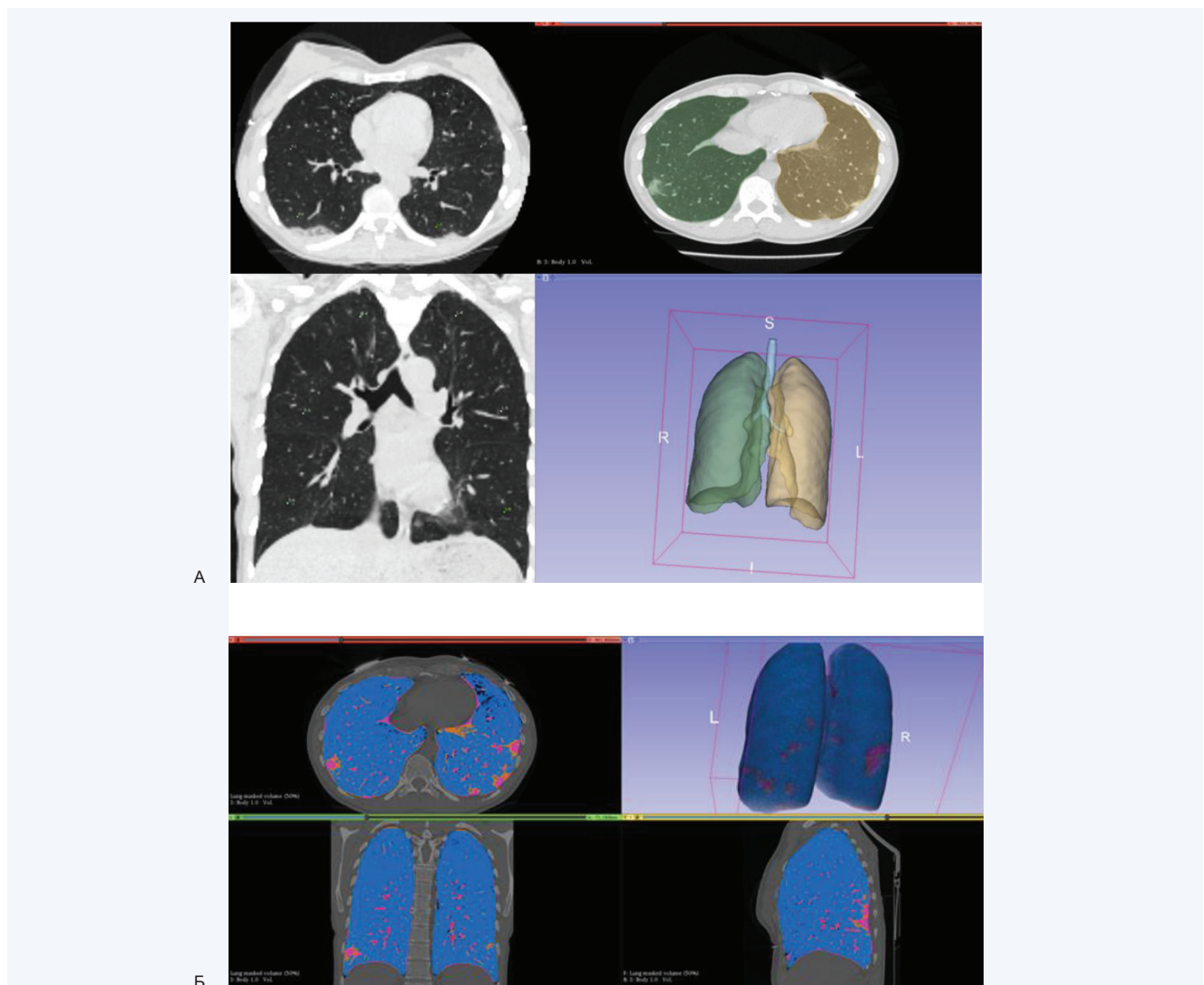


Рис. 1. Пример работы с программой сегментации легких:

А) Пример полуавтоматической сегментации легких на изображениях КТ с установкой «меток»;

Б) Автоматическая сегментация пораженной легочной ткани по заданным порогам плотности

Fig. 1. Workflow using the lung segmentation program:

А) Example of semi-automatic lung segmentation on CT images with tagging;

Б) Automatic segmentation of affected lung tissue according to specified density thresholds

Критерии исключения:

1. Пациенты без признаков COVID-19-ассоциированной пневмонии (КТ 0).
2. Ошибка полуавтоматической сегментации при стандартном протоколе КТ.

Статистический анализ

Статистическая обработка была выполнена с помощью программного пакета R 4.2.0. В статистический анализ были включены пациенты с парой исследований КТ-НДКТ с признаками COVID-19-ассоциированной пневмонии, успешно обработанных расширениями 3D Slicer. Для представления количественных показателей были использованы среднее значение (M), стандартное отклонение (SD), если показатель имел нормальное распределение, или медиана (Me) и межквартильный промежуток [$Q1$; $Q3$] в противном случае. Проверка нормальности распределения данных выполнялась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для сравнения данных объема всей сегментированной легочной ткани, абсолютного объема и процента пораженной легочной ткани при КТ и НДКТ, реконструированных в мягкотканном кернеле использовались парный t -критерий Стьюдента (для нормально

распределенных количественных показателей) и критерий Вилкоксона (при отсутствии нормальности). В качестве порогового уровня статистической значимости было принято значение 0,05 (двустороннее).

Результаты

Проанализированы данные 230 пациентов, из них 100 пациентов имели признаки COVID-19-ассоциированной пневмонии и были включены в исследование. В 3D Slicer были успешно обработаны 84 (29 мужчин и 55 женщин), что указывает на высокую эффективность программного пакета. Результаты теста на проверку нормальности распределения данных представлены в таблице 1.

Средний возраст пациентов составил $50,6 \pm 13,3$ лет, медиана индекса массы тела – $28,15 \text{ кг/м}^2$ [24,85; 31,31].

Для КТ средний CTDI составил $13,9 \pm 4,2$ мГр, DLP – $592,12 \pm 191,62$ мГр*см, эффективная доза – $10,1 \pm 3,26$ мЗв.

Для НДКТ медиана CTDI составила 3,7 мГр [2,6; 4,9], DLP – 155 мГр*см [116,8; 215,8], эффективная доза – 2,64 мЗв [1,99; 3,67].

Характеристика данных полуавтоматической сегментации легких представлена в таблице 2.

Таблица 1. Результаты теста Шапиро – Уилка на нормальность распределения данных

Table 1. Shapiro – Wilk's test results for the normality of the data distribution

Параметры Parameters	Результаты Results
Возраст Age	$W = 0,99$; $p\text{-value} = 0,9$
ИМТ BMI	$W = 0,93$; $p\text{-value} < 0,001$
Объем пораженной легочной ткани, определенный для стандартного протокола КТ, см ³ The volume of the affected lung tissue, determined for the standard CT protocol, cm ³	$W = 0,86$; $p\text{-value} < 0,001$
Объем пораженной легочной ткани, определенный для разработанного протокола НДКТ, см ³ The volume of affected lung tissue determined for the developed LDCT protocol, cm ³	$W = 0,89$; $p\text{-value} < 0,001$
Объем всей сегментированной легочной ткани определенный для стандартного протокола КТ, см ³ The volume of all segmented lung tissue defined for the standard CT protocol, cm ³	$W = 0,99$; $p\text{-value} = 0,78$
Объем всей сегментированной легочной ткани, определенный для разработанного протокола НДКТ, см ³ The volume of the entire segmented lung tissue determined for the developed LDCT protocol, cm ³	$W = 0,99$; $p\text{-value} = 0,7$
Процент поражения легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких) при стандартном протоколе КТ, см ³ Percentage of lung tissue affected (volume affected/lung volume) on standard CT protocol, cm ³	$W = 0,75$; $p\text{-value} < 0,001$
Процент поражения легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких) при разработанном протоколе НДКТ, см ³ Percentage of lung tissue damage (volume of affected tissue/lung volume) in the developed LDCT protocol, cm ³	$W = 0,78$; $p\text{-value} < 0,001$
CTDI для стандартного протокола КТ CTDI for standard CT protocol	$W = 0,97$; $p\text{-value} = 0,09$
CTDI для разработанного протокола НДКТ CTDI for the developed LDCT protocol	$W = 0,71$; $p\text{-value} < 0,001$
DLP для стандартного протокола КТ DLP for standard CT protocol	$W = 0,99$; $p\text{-value} = 0,47$
DLP для разработанного протокола НДКТ DLP for the developed LDCT protocol	$W = 0,74$; $p\text{-value} < 0,001$
Эффективная доза для стандартного протокола КТ Effective dose for standard CT protocol	$W = 0,99$; $p\text{-value} = 0,47$
Эффективная доза для разработанного протокола НДКТ Effective dose for the developed LDCT protocol	$W = 0,87$; $p\text{-value} < 0,001$

Таблица 2. Данные полуавтоматической сегментации легких при стандартном протоколе компьютерной томографии и разработанном протоколе низкодозной компьютерной томографии

Table 2. Semi-automated lung segmentation data for the standard CT protocol and the developed LDCT protocol

Параметры Parameters	Показатели
Объем пораженной легочной ткани, КТ, см ³ The volume of the affected lung tissue, CT, cm ³	581,5 [454; 724,2]
Объем пораженной легочной ткани, НДКТ, см ³ The volume of the affected lung tissue, LDCT, cm ³	531 [419,8; 726,2]

Окончание табл. 2
End of table 2

Параметры Parameters	Показатели
Объем всей сегментированной легочной ткани, КТ, см ³ The volume of the entire segmented lung tissue, CT, cm ³	4681 ± 1251
Объем всей сегментированной легочной ткани, НДКТ, см ³ The volume of the entire segmented lung tissue, LDCT, cm ³	4388 ± 1197,4
Процент поражения легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких), КТ, см ³ Percentage of lung tissue damage (volume of affected tissue/lung volume), CT, cm ³	11,56 [8,1; 17,8]
Процент поражения легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких), НДКТ, см ³ Percentage of lung tissue damage (volume of affected tissue/lung volume), LDCT, cm ³	12 [8; 18,6]

При сравнении значений объема сегментированной легочной ткани для КТ и НДКТ с помощью парного *t*-критерия Стьюдента получены статистически значимые различия (средняя разница показателей – 292,9 см³ (95% ДИ 220,4–365,5), *p*-value < 0,001).

При анализе абсолютных значений объема поражения легочной ткани в кубических сантиметрах между КТ и НДКТ с помощью критерия Вилкоксона выявлена статистически значимая разница (медиана разницы 30 см³ (95% ДИ 11,5–50 см³), *p*-value < 0,001).

При анализе процента поражения легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких) статистически значимые различия между КТ и НДКТ (рис. 2) с помощью критерия Вилкоксона не выявлены (медиана для разницы между группами – 0,03 (95% ДИ –0,54–0,48), *p*-value = 0,95).

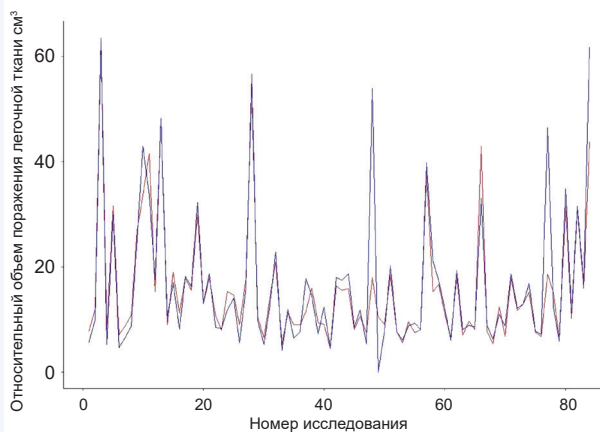


Рис. 2. Процент пораженной легочной ткани (объем пораженной ткани/объем легких) для стандартного протокола компьютерной томографии (красный цвет) и разработанного протокола низкодозной компьютерной томографии (синий цвет)
Fig. 2. Affected lung volume percentage segmented for the standard CT protocol (in red) and the developed LDCT protocol (in blue)

Обсуждение

В данной работе была выполнена обработка данных КТ и НДКТ ОГК полуавтоматическим методом с использованием программы 3D Slicer. При анализе абсолютных значений объема поражения легочной ткани между стандартным протоколом КТ и разработанным протоколом НДКТ отмечены статистически значимые различия. При этом анализ процента поражения легочной ткани (объем

пораженной ткани/объем легких) между КТ и НДКТ показал отсутствие статистически значимых различий. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности использования полуавтоматического метода для обработки данных НДКТ и оценки объема пораженной легочной ткани в процентах.

Анализ литературы показал отсутствие подобных исследований, что позволяет сделать вывод об уникальности проведенного исследования сравнения точности полуавтоматической сегментации объема пораженной ткани при COVID-19 между стандартной КТ и НДКТ по разработанному протоколу.

В исследовании R. Bumm и соавт. были протестированы модули Lung CT Analyzer и Lung CT Segmenter на 20 КТ (9 мужчин, 3 женщины) со среднетяжелой и тяжелой формами COVID-19, был сделан вывод, что эти расширения для 3D Slicer могут быть использованы при анализе легочных инфильтратов любой этиологии [33]. В нашем исследовании с большим размером выборки эти модули использованы для работы с протоколами КТ и НДКТ.

В исследовании E. Lanza и соавт. 3D Slicer применялся для полуавтоматической сегментации и количественного анализа данных КТ ОГК с целью определения необходимости оксигенотерапии при COVID-19. Денситометрические показатели легочной паренхимы в соответствии с различными интервалами единиц Хаунсфилда (HU) включали нормальную (от –501 до –900 HU), и пораженную (от –500 до 100 HU) ткань. Объем выборки составил 222 пациента (163 мужчины, 59 женщин), средний возраст – 66 лет. Процент пораженной ткани выше 23% был предиктором интубации (*p* < 0,001) [35]. В связи с тем, что в нашем исследовании показана надежность разработанного протокола НДКТ для определения процента пораженной легочной паренхимы при COVID-19, появляется возможность использования КТ с пониженной дозой лучевой нагрузки в клинической практике для маршрутизации пациентов.

В исследовании L. Berta и соавт. на тему сегментации при COVID-19 была проведена автоматическая сегментация стандартной КТ ОГК с использованием четырех инструментов, включая 3D Slicer с расширением Chest Imaging Platform. После качественной и количественной оценки полученной сегментации с расчетом коэффициента Дайса авторы пришли к выводу, что ни одна из выбранных ими программ не обеспечила надежной и полностью автоматической разметки КТ ОГК. При этом для 3D Slicer и QUIBIM получены наибольшие средние значения качества автоматической сегментации при независимой оценке четырьмя врачами-рентгенологами. Выборка

составила 55 пациентов (41 мужчина, 14 женщин) среднего возраста – 56 лет [36].

Внедрение технологических инноваций ускорило из-за ограничений, связанных с COVID-19, что привело к увеличению дистанционной интерпретации изображений, использованию искусственного интеллекта для анализа изображений. Возможность применения полуавтоматического сегментирования легких на НДКТ-исследованиях позволит использовать искусственный интеллект, до этого успешно апробированный на КТ-исследованиях [37, 38] вкупе со снижением лучевой нагрузки на пациентов. Ввиду не всегда присутствующей согласованности между врачами-рентгенологами [39] применение алгоритмов для сегментирования и анализа объемов поражения на НДКТ-исследованиях пациентов с COVID-19 позволит объективизировать данные. В эпоху COVID-19 использование телемедицинских технологий в лучевой диагностике, в том числе и с использованием искусственного интеллекта, широко распространено и оправдано [40–42].

Полученные результаты позволяют говорить о возможности перехода к изучению клинического эффекта применения полуавтоматического анализа объема

поражения легочной ткани с помощью разработанного низкодозного протокола. Следует отметить, что аспекты практического применения требуют дополнительного изучения в ходе проспективного исследования.

Ограничения настоящего исследования: ретроспективный дизайн, малый размер выборки пациентов, использование только одной программы для сегментации. Также важным ограничением является исключение из исследования пациентов без признаков вирусной пневмонии (КТ 0) в связи с чем нельзя оценить ложноположительные срабатывания вследствие сниженного уровня «сигнал-шум».

Заключение

В настоящем исследовании выполнено сравнение точности полуавтоматической сегментации объема поражения легочной ткани между стандартным протоколом КТ ОГК и разработанным протоколом НДКТ ОГК при COVID-19. Показано, что надежность разработанного протокола НДКТ при полуавтоматическом расчете процента пораженной ткани в 3D Slicer с расширениями Lung CT Segmenter и Lung CT Analyzer сравнима со стандартным протоколом КТ ОГК.

Литература

- Lai C.-C., Shih T.-P., Ko W.-C., Tang H.-J., Hsueh P.-R. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *Int. J. Antimicrob. Agents.* 2020;55(3):105924. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105924.
- Be Jaegere T.M.H., Krdzalic J., Fasen B.A.C.M., Kwee R.M.; COVID-19 CT Investigators South-East Netherlands (CISEN) study group. Radiological society of north america chest ct classification system for reporting COVID-19 pneumonia: Interobserver variability and correlation with reverse-transcription polymerase chain reaction. *Radiol. Cardiothorac. Imaging.* 2020;2(3):e200213. DOI: 10.1148/ryct.2020200213.
- Samir A., El-Husseiny R.M., Sweed R.A., El-Maaboud N.A.E.-M.A., Masoud M. Ultra-low-dose chest CT protocol during the second wave of COVID-19 pandemic: A double-observer prospective study on 250 patients to evaluate its detection accuracy. *Egypt. J. Radiol. Nucl. Med.* 2021;52(1):136. DOI: 10.1186/s43055-021-00512-2.
- Prokop M., van Everdingen W., van Rees Vellinga T., Quarles van Ufford H., Stöger L., Beenen L. et al. CO-RADS: A categorical CT assessment scheme for patients suspected of having COVID-19-definition and evaluation. *Radiol.* 2020;296(2):E97–E104. DOI: 10.1148/radiol.2020201473.
- Yang R., Li X., Liu H., Zhen Y., Zhang X., Xiong Q. et al. Chest ct severity score: An imaging tool for assessing severe covid-19. *Radiol. Cardiothorac. Imaging.* 2020;2(2):e200047. DOI: 10.1148/ryct.2020200047.
- Colombi D., Bodini F.C., Petrin M., Maffi G., Morelli N., Milanese G. et al. Well-aerated lung on admitting chest CT to predict adverse outcome in COVID-19 pneumonia. *Radiol.* 2020;296(2):E86–E96. DOI: 10.1148/radiol.2020201433.
- Priority medical devices list for the COVID-19 response and associated technical specifications: Interim guidance. URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336745/WHO-2019-nCoV-MedDev-TS-O2T.V2-eng.pdf> (22.11.2022).
- Lee E.Y.P., Ng M.Y., Khong P.L. COVID-19 pneumonia: what has CT taught us? *Lancet Infect. Dis.* 2020;20(4):384–385. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30134-1.
- Xia T., Li J., Gao J., Xu X. Small solitary ground-glass nodule on CT as an initial manifestation of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia. *Korean. J. Radiol.* 2020;21(5):545. DOI:10.3348/kjr.2020.0240.
- Li B., Li X., Wang Y., Han Y., Wang Y., Wang C. et al. Diagnostic value and key features of computed tomography in Coronavirus Disease 2019. *Emerg. Microbes Infect.* 2020;9(1):787–793. DOI: 10.1080/22221751.2020.1750307.
- Parekh M., Donuru A., Balasubramanya R., Kapur S. Review of the chest CT differential diagnosis of ground-glass opacities in the COVID era. *Radiol.* 2020;297(3):E289–E302. DOI: 10.1148/radiol.2020202504.
- Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов; 2 изд. URL: <https://tele-med.ai/biblioteka-dokumentov/luchevaya-dagnostika-koronavirusnoj-bolezni-covid-19-organizaciya-metodologiya-interpretaciya-rezultatov2> (22.11.2022).
- Huang L., Han R., Ai T., Yu P., Kang H., Tao Q. et al. Serial quantitative chest CT assessment of COVID -19: A deep learning approach. *Radiol. Cardiothorac. Imaging.* 2020;2(2):e200075. DOI: 10.1148/ryct.2020200075.
- Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В., Владимировский А.В., Трофименко И.А., Мокиенко О.А. и др. Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19. *Digital Diagnostics.* 2020;1(1):5–12. DOI: 10.17816/DD51043.
- Prasad K.N., Cole W.C., Haase G.M. Radiation protection in humans: Extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. *BJR.* 2004;77(914):97–99. DOI: 10.1259/bjr.88081058.
- Preface, executive summary and glossary. *Ann. ICRP.* 2007;37(2–4):9–34. DOI: 10.1016/j.icrp.2007.10.003.
- Sakane H., Ishida M., Shi L., Fukumoto W., Sakai C., Miyata Y. et al. Biological effects of low-dose chest CT on chromosomal DNA. *Radiology.* 2020;295(2):439–445. DOI: 10.1148/radiol.2020190389.
- Tofghi 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;27(6):601–605. DOI: 10.1007/s10140-020-01784-3.
- Tabatabaei S.M.H., Talari H., Gholamrezanezhad A., Farhood B., Rahimi H., Razzaghi R. 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.
- Schulze-Hagen M., Hübel C., Meier-Schroers M., Yüksel C., Sander A. et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Deutsches Ärzteblatt International.* 2020;117(22–23):389–395. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0389.
- Aslan S., Bekçi T., Çakır İ.M., Ekiz M., Yavuz İ., Şahin A.M. 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.
- Blokhin I., Gombolevskiy V., Chernina V., Gusev M., Gelezhe P., Aleshina O. 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(3):669. DOI: 10.3390/jcm11030669.
- Усанов М.С., Кульберг Н.С., Морозов С.П. Разработка алгоритма анизотропной нелинейной фильтрации данных компьютерной томографии с применением динамического порога. *Компьютерные исследования и моделирование.* 2019;11(2):233–248. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-233-248.
- Schilham A.M.R., van Ginneken B., Gietema H., Prokop M. Local noise weighted filtering for emphysema scoring of low-dose CT images

- es. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 2006;25(4):451–463. DOI: 10.1109/TMI.2006.871545.
25. Николаев А.Е., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Шапиев А.Н., Гончар А.П., Гомболевский В.А. и др. Перспективы использования комплексной компьютер-ассистированной диагностики в оценке структур грудной клетки. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2019;(12):91–99. DOI: 10.17116/hirurgia201912191.
 26. Bai T., Wang B., Nguyen D., Jiang S. Probabilistic self-learning framework for low-dose CT denoising. *Med. Phys.* 2021;48(5):2258–2270. DOI: 10.1002/mp.14796.
 27. Tang C., Li J., Wang L., Li Z., Jiang L., Cai A. et al. Unpaired low-dose CT denoising network based on cycle-consistent generative adversarial network with prior image information. *Comput. Math. Methods Med.* 2019;2019:1–11. DOI: 10.1155/2019/8639825.
 28. Gombolevskiy V., Morozov S., Chernina V., Blokhin I., Vassileva J. 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.
 29. Maldjian P.D., Goldman A.R. Reducing radiation dose in body CT: primer on dose metrics and key CT technical parameters. *Am. Jour. of Rent.* 2013;200(4):741–747. DOI: 10.2214/AJR.12.9768.
 30. Gierada D.S., Bierhals A.J., Choong C.K., Bartel S.T., Ritter J.H., Das N.A. et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification. *Acad. Radiol.* 2010;17(2):146–156. DOI: 10.1016/j.acra.2009.08.007.
 31. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J.-C., Pujol S. et al. 3D slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn. Reson. Imaging*. 2012;30(9):1323–1341. DOI: 10.1016/j.mri.2012.05.001.
 32. Kikinis R., Pieper S.D., Vosburgh K.G. 3D slicer: F platform for subject-specific image analysis, visualization, and clinical support. In: F.A. Jolesz by ed. *Intraoperative imaging and image-guided therapy*. New York: Springer; 2014:277–289. DOI: 10.1007/978-1-4614-7657-3_19.
 33. Bumm R., Lasso A., Kawel-Böhm N., Wäckerlin A., Ludwig P., Furrer M. First results of spatial reconstruction and quantification of COVID-19 chest CT infiltrates using lung CT analyzer and 3D slicer. *Brit. J. Surg.* 2021;108(4):znab202.077. DOI: 10.1093/bjs/znab202.077.
 34. Kaza E., Dunlop A., Panek R., Collins D.J., Orton M., Symonds-Taylor R. et al. Lung volume reproducibility under ABC control and self-sustained breath-holding. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2017;18(2):154–162. DOI: 10.1002/acm2.12034.
 35. Lanza E., Muglia R., Bolengo I., Santonocito O.G., Lisi C., Angelotti G. et al. Quantitative chest CT analysis in COVID-19 to predict the need for oxygenation support and intubation. *Eur. Radiol.* 2020;30(12):6770–6778. DOI: 10.1007/s00330-020-07013-2.
 36. Berta L., Rizzetto F., De Mattia C., Lizio D., Felisi M., Colombo P.E. et al. Automatic lung segmentation in COVID-19 patients: Impact on quantitative computed tomography analysis. *Phys. Medica*. 2021;87:115–122. DOI: 10.1016/j.ejomp.2021.06.001.
 37. Ozsahin I., Sekeroglu B., Musa M.S., Mustapha M.T., Uzun Ozsahin D. Review on diagnosis of covid-19 from chest CT images using artificial intelligence. *Comput. Math. Methods Med.* 2020;2020:1–10. DOI: 10.1155/2020/9756518.
 38. Shi F., Wang J., Shi J., Wu Z., Wang Q., Tang Z. et al. Review of artificial intelligence techniques in imaging data acquisition, segmentation, and diagnosis for COVID-19. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2021;14:4–15. DOI: 10.1109/RBME.2020.2987975.
 39. Кульберг Н.С., Решетников Р.В., Новик В.П., Елизаров А.Б., Гусев М.А., Гомболевский В.А. и др. Вариативность заключений при интерпретации КТ-снимков: один за всех и все за одного. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):105–118. DOI: 10.17816/DD60622.
 40. Boufarasse Y.B., Ettahir A., Bekkali D., Bennani J. Teleradiology and AI as solution to overcome the COVID-19 pandemic impact during the lockdowns in Africa. *Health Sci. J.* 2020;14(6):771. DOI: 10.36648/1791-809X.14.6.771.
 41. Tan B.S., Dunnick N.R., Gangi A., Goergen S., Jin Z.Y., Neri E. et al. RSNA International Trends: A global perspective on the COVID-19 pandemic and radiology in late 2020. *Radiol.* 2021;299(1):E193–E203. DOI: 10.1148/radiol.202024267.
 42. Martín-Noguerol T., Lopez-Ortega R., Ros P.R., Luna A. Teleworking beyond teleradiology: Managing radiology departments during the COVID-19 outbreak. *Eur. Radiol.* 2021;31(2):601–604. DOI: 10.1007/s00330-020-07205-w.
 - monia. *Korean. J. Radiol.* 2020;21(5):545. DOI:10.3348/kjr.2020.0240.
 10. Li B., Li X., Wang Y., Han Y., Wang Y., Wang C. et al. Diagnostic value and key features of computed tomography in Coronavirus Disease 2019. *Emerg. Microbes Infect.* 2020;9(1):787–793. DOI: 10.1080/22221751.2020.1750307.
 11. Parekh M., Donuru A., Balasubramanya R., Kapur S. Review of the chest CT differential diagnosis of ground-glass opacities in the COVID era. *Radiol.* 2020;297(3):E289–E302. DOI: 10.1148/radiol.2020202504.
 12. Radiation diagnostics of coronavirus disease (COVID-19): organization, methodology, interpretation of results; 2nd ed. (In Russ.). URL: <https://tele-med.ai/biblioteka-dokumentov/luchevaya-dagnostika-koronavirus-noj-bolezni-covid-19-organizaciya-metodologiya-interpretaciya-rezultatov2> (22.11.2022).
 13. Huang L., Han R., Ai T., Yu P., Kang H., Tao Q. et al. Serial quantitative chest CT assessment of COVID-19: A deep learning approach. *Radiol. Cardiothorac. Imaging*. 2020;2(2):e200075. DOI: 10.1148/ryct.2020200075.
 14. Morozov S.P., Kuzmina E.S., Ledikhova N.V., Vladzmyrskyy A.V., Trofimenko I.A., Mokienko O.A. et al. Mobilizing the academic and practical potential of diagnostic radiology during the COVID-19 pandemic in Moscow. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):5–12. (In Russ.). DOI: 10.17816/DD51043.
 15. Prasad K.N., Cole W.C., Haase G.M. Radiation protection in humans: Extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. *BJR*. 2004;77(914):97–99. DOI: 10.1259/bjr/88081058.
 16. Preface, executive summary and glossary. *Ann. ICRP*. 2007;37(2–4):9–34. DOI: 10.1016/j.icrp.2007.10.003.
 17. Sakane H., Ishida M., Shi L., Fukumoto W., Sakai C., Miyata Y. et al. Biological effects of low-dose chest CT on chromosomal DNA. *Radiology*. 2020;295(2):439–445. DOI: 10.1148/radiol.2020190389.
 18. Tofighi S., Najafi S., Johnston S.K., Gholamrezaezhad 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.
 19. Tabatabaei S.M.H., Talari H., Gholamrezaezhad A., Farhood B., Rahimi H., Razzaghi R. et al. A low-dose chest CT protocol for the diag-

- nosis of COVID-19 pneumonia: A prospective study. *Emerg. Radiol.* 2020;27(6):607–615. DOI: 10.1007/s10140-020-01838-6.
20. Schulze-Hagen M., Hübel C., Meier-Schroers M., Yüksel C., Sander A. et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2020;117(22–23):389–395. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0389.
 21. Aslan S., Bekçi T., Çakır İ.M., Ekiz M., Yavuz İ., Şahin A.M. 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.
 22. Blokhin I., Gomboleviskiy V., Chernina V., Gusev M., Gelezhe P., Aleshina O. 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(3):669. DOI: 10.3390/jcm11030669.
 23. Usanov M.S., Kulberg N.S., Morozov S.P. Development of anisotropic nonlinear noise-reduction algorithm for computed tomography data with context dynamic threshold. *Computer Research and Modeling*. 2019;11(2):233–248. (In Russ.). DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-233-248.
 24. Schilham A.M.R., van Ginneken B., Gietema H., Prokop M. Local noise weighted filtering for emphysema scoring of low-dose CT images. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 2006;25(4):451–463. DOI: 10.1109/TMI.2006.871545.
 25. Nikolaev A.E., Chernina V.Yu., Blokhin I.A., Shapiev A.N., Gonchar A.P., Gomboleviskiy V.A. et al. The future of computer-aided diagnostics in chest computed tomography. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2019;(12):91–99. (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia201912191.
 26. Bai T., Wang B., Nguyen D., Jiang S. Probabilistic self-learning framework for low-dose CT denoising. *Med. Phys.* 2021;48(5):2258–2270. DOI: 10.1002/mp.14796.
 27. Tang C., Li J., Wang L., Li Z., Jiang L., Cai A. et al. Unpaired low-dose CT denoising network based on cycle-consistent generative adversarial network with prior image information. *Comput. Math. Methods Med.* 2019;2019:1–11. DOI: 10.1155/2019/8639825.
 28. Gomboleviskiy V., Morozov S., Chernina V., Blokhin I., Vassileva J. 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.
 29. Maldjian P.D., Goldman A.R. Reducing radiation dose in body CT: primer on dose metrics and key CT technical parameters. *Am. Jour. of Rent.* 2013;200(4):741–747. DOI: 10.2214/AJR.12.9768.
 30. Gierada D.S., Bierhals A.J., Choong C.K., Bartel S.T., Ritter J.H., Das N.A. et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification. *Acad. Radiol.* 2010;17(2):146–156. DOI: 10.1016/j.acra.2009.08.007.
 31. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J.-C., Pujol S. et al. 3D slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn. Reson. Imaging*. 2012;30(9):1323–1341. DOI: 10.1016/j.mri.2012.05.001.
 32. Kikinis R., Pieper S.D., Vosburgh K.G. 3D slicer: F platform for subject-specific image analysis, visualization, and clinical support. In: F.A. Jolesz by ed. *Intraoperative imaging and image-guided therapy*. New York: Springer; 2014:277–289. DOI: 10.1007/978-1-4614-7657-3_19.
 33. Bumm R., Lasso A., Kawel-Böhm N., Wäckerlin A., Ludwig P., Furrer M. First results of spatial reconstruction and quantification of COVID-19 chest CT infiltrates using lung CT analyzer and 3D slicer. *Brit. J. Surg.* 2021;108(4):znab202.077. DOI: 10.1093/bjs/znab202.077.
 34. Kaza E., Dunlop A., Panek R., Collins D.J., Orton M., Symonds-Taylor R. et al. Lung volume reproducibility under ABC control and self-sustained breath-holding. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2017;18(2):154–162. DOI: 10.1002/acm2.12034.
 35. Lanza E., Muglia R., Bolengo I., Santonocito O.G., Lisi C., Angelotti G. et al. Quantitative chest CT analysis in COVID-19 to predict the need for oxygenation support and intubation. *Eur. Radiol.* 2020;30(12):6770–6778. DOI: 10.1007/s00330-020-07013-2.
 36. Berta L., Rizzetto F., De Mattia C., Lizio D., Felisi M., Colombo P.E. et al. Automatic lung segmentation in COVID-19 patients: Impact on quantitative computed tomography analysis. *Phys. Medica*. 2021;87:115–122. DOI: 10.1016/j.ejmp.2021.06.001.
 37. Ozsahin I., Sekeroglu B., Musa M.S., Mustapha M.T., Uzun Ozsahin D. Review on diagnosis of COVID-19 from chest CT images using artificial intelligence. *Comput. Math. Methods in Med.* 2020;2020:1–10. DOI: 10.1155/2020/9756518.
 38. Shi F., Wang J., Shi J., Wu Z., Wang Q., Tang Z. et al. Review of artificial intelligence techniques in imaging data acquisition, segmentation, and diagnosis for covid-19. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2021;14:4–15. DOI: 10.1109/RBME.2020.2987975.
 39. Kulberg N.S., Reshetnikov R.V., Novik V.P., Elizarov A.B., Gusev M.A., Gomboleviskiy V.A. et al. Inter-observer variability between readers of CT images: all for one and one for all. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):105–118. (In Russ.). DOI: 10.17816/DD60622.
 40. Boufarasse Y.B., Ettahir A., Bekkali D., Bennani J. Teleradiology and AI as solution to overcome the COVID-19 pandemic impact during the lockdowns in Africa. *Health Sci. J.* 2020;14(6):771. DOI: 10.36648/1791-809X.14.6.771.
 41. Tan B.S., Dunnick N.R., Gangi A., Goergen S., Jin Z.Y., Neri E. et al. RSNA International Trends: A global perspective on the COVID-19 pandemic and radiology in late 2020. *Radiol.* 2021;299(1):E193–E203. DOI: 10.1148/radiol.2020204267.
 42. Martín-Noguerol T., Lopez-Ortega R., Ros P.R., Luna A. Teleworking beyond teleradiology: Managing radiology departments during the COVID-19 outbreak. *Eur. Radiol.* 2021;31(2):601–604. DOI: 10.1007/s00330-020-07205-w.

Информация о вкладе авторов

Блохин И.А. — разработка концепции, сбор материала, анализ полученных данных, подготовка текста, редактирование.

Соловьев А.С. — разработка концепции, сбор материала, редактирование.

Владимирский А.В. — разработка концепции, редактирование.

Коденко М.Р. — анализ полученных данных, подготовка текста, редактирование.

Шумская Ю.Ф. — анализ полученных данных, подготовка текста, редактирование.

Гончар А.П. — подготовка текста, анализ полученных данных, редактирование.

Гомболевский В.А. — разработка концепции, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Все авторы дали окончательное согласие на подачу рукописи и согласились нести ответственность за все аспекты работы, ручаясь за их точность и безупречность.

Information on author contributions

Blokhin I.A. — concept development, material collection, data analysis, text preparation, and editing the manuscript.

Solovjev A.S. — concept development, material collection, and editing the manuscript.

Vladimirskiy A.V. — concept development and editing the manuscript.

Kodenko M.R. — data analysis, text preparation, and editing the manuscript.

Shumskaya Y.F. — data analysis, text preparation, and editing the manuscript.

Gonchar A.P. — text preparation, data analysis, and editing the manuscript.

Gomboleviskiy V.A. — concept development, editing, and approval of the final version of the article.

All authors gave their final consent to the submission of the manuscript and agreed to be responsible for all aspects of the work, vouching for their accuracy and impeccability.

Сведения об авторах

Шумская Юлия Федоровна, младший научный сотрудник, отдел научных медицинских исследований, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Yuliya F. Shumskaya, Junior Research Scientist, Medical Research Department, Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department; Laboratory Technician, Department of Hospital Therapy No. 1, I.M. Sechenov First

Федерации; лаборант, кафедра госпитальной терапии № 1; Институт клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). ORCID 0000-0002-8521-4045.

E-mail: ShumskayaYF@zdrav.mos.ru.

Блохин Иван Андреевич, младший научный сотрудник, сектор исследований в лучевой диагностике, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0002-2681-9378.

E-mail: i.blokhin@npcmr.ru.

Соловьев Александр Владимирович, младший научный сотрудник, отдел научных медицинских исследований, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0003-4485-2638.

E-mail: a.solovlev@npcmr.ru.

Владимирский Антон Вячеславович, д-р мед. наук, заместитель директора по научной работе, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0002-2990-7736.

E-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru.

Коденко Мария Романовна, младший научный сотрудник, отдел научных медицинских исследований, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0002-0166-3768.

E-mail: m.kodenko@npcmr.ru.

Гончар Анна Павловна, младший научный сотрудник, сектор исследований в лучевой диагностике, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0001-5161-6540.

E-mail: a.gonchar@npcmr.ru.

Гомбелевский Виктор Александрович, канд. мед. наук, директор ключевых исследовательских программ, Институт искусственного интеллекта (AIRI). ORCID 0000-0003-1816-1315.

E-mail: g_victor@mail.ru.

 **Шумская Юлия Федоровна**, e-mail: ShumskayaYF@zdrav.mos.ru.

Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University). ORCID 0000-0002-8521-4045.

E-mail: ShumskayaYF@zdrav.mos.ru.

Ivan A. Blokhin, Junior Research Scientist, Diagnostic Radiology Research Sector, Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department. ORCID 0000-0002-2681-9378.

E-mail: i.blokhin@npcmr.ru.

Alexander V. Solovlev, Junior Research Scientist, Medical Research Department, Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department. ORCID 0000-0003-4485-2638.

E-mail: a.solovlev@npcmr.ru.

Anton V. Vladzimirskyy, Dr. Sci. (Med.), Deputy Director for Research, Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department. ORCID 0000-0002-2990-7736.

E-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru.

Maria R. Kodenko, Junior Research Scientist, Medical Research Department, Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department; Bauman Moscow State Technical University. ORCID 0000-0002-0166-3768.

E-mail: m.kodenko@npcmr.ru.

Anna P. Gonchar, Junior Research Scientist, Medical Research Department, Clinical Research and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department. ORCID 0000-0001-5161-6540.

E-mail: a.gonchar@npcmr.ru.

Victor A. Gombolevskiy, M.D., Ph.D., MPH, Head of Key Research Programs, Artificial Intelligence Research Institute (AIRI). ORCID 0000-0003-1816-1315.

E-mail: g_victor@mail.ru.

 **Yuliya F. Shumskaya**, e-mail: ShumskayaYF@zdrav.mos.ru.

Received October 14, 2022

Поступила 14.10.2022.