

Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность описаний результатов компьютерной томографии пациентов с COVID-19 в стационарном звене здравоохранения

© С.П. МОРОЗОВ¹, А.В. ГАВРИЛОВ², И.В. АРХИПОВ², Д.Д. ДОЛОТОВА³, М.А. ЛЫСЕНКО⁴, С.В. ЦАРЕНКО⁴, В.Н. СМОРШОК⁴, В.В. ПАРШИН⁴, Т.А. КОРБ¹, А.П. ГОНЧАР¹, И.А. БЛОХИН¹, Т.А. ЛОГУНОВА¹, К.Б. ЕВТЕЕВА¹, А.Е. АНДРЕЙЧЕНКО¹, А.В. ВЛАДЗИМИРСКИЙ^{1,5}, О.В. ОМЕЛЯНСКАЯ¹, В.А. ГОМБОЛЕВСКИЙ⁶

¹ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы», Москва, Россия;

²Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия;

³ООО «Гаммамед-Софт», Москва, Россия;

⁴ГБУЗ «Городская клиническая больница №52 Департамента здравоохранения Москвы», Москва, Россия;

⁵ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

⁶АНО «Институт искусственного интеллекта» (AIRI), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Неоднократно описана практическая ценность компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки для диагностики пациентов с подозрением на коронавирусную инфекцию (COVID-19). В условиях высокой загруженности во время пандемии врачи-рентгенологи испытывают нехватку времени для интерпретации результатов исследований. Использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) может повлиять на длительность формирования протокола описания КТ-исследований.

Цель исследования. Оценить влияние алгоритма ИИ на скорость описания результатов КТ органов грудной клетки при подозрении на COVID-19 в стационарном звене городского здравоохранения.

Материал и методы. Проведено ретроспективное исследование, протокол зарегистрирован в ClinicalTrials.gov (NCT04489992). Исследование выполнено на основе данных пациентов, прошедших КТ органов грудной клетки в период с 08.04.20 по 01.12.20 в 105 медицинских организациях стационарного звена городского здравоохранения. КТ органов грудной клетки проводили по стандартным протоколам сканирования. Врачи-рентгенологи анализировали исследования с помощью ИИ-сервиса «Гамма Мультивокс Ковирус» и без него. Формирование протоколов медицинских заключений проведено в Едином радиологическом информационном сервисе в составе Единой медицинской информационно-аналитической системы Москвы.

Результаты. Без применения ИИ проанализированы 3133 КТ-исследований с признаками COVID-19-ассоциированной пневмонии (1-я группа), с использованием ИИ — 63 379 (2-я группа). Медианная длительность описаний в 1-й и 2-й группах составила 103,0 и 46,0 мин соответственно. Анализ длительности интерпретации врачом-рентгенологом результатов КТ органов грудной клетки до и после внедрения ИИ выявил статистически значимые различия ($p < 0,0001$). Средняя длительность описания КТ органов грудной клетки при использовании ИИ уменьшилась на 29,4%.

Заключение. Внедрение технологии ИИ, направленной на диагностику изменений в легких при COVID-19 по данным КТ органов грудной клетки, в практическую работу отделений лучевой диагностики стационарного звена городского здравоохранения сокращает время подготовки протокола описания врачами-рентгенологами.

Ключевые слова: COVID-19, коронавирус, компьютерная томография, искусственный интеллект, лучевая диагностика.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Морозов С.П. — <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>

Гаврилов А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-7838-584X>

Архипов И.В. — <https://orcid.org/0000-0003-4278-2285>

Долотова Д.Д. — <https://orcid.org/0000-0002-5538-1109>

Лысенко М.А. — <https://orcid.org/0000-0001-6010-7975>

Царенко С.В. — <https://orcid.org/0000-0002-7065-5331>

Сморшок В.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-1998-261X>

Паршин В.В. — <https://orcid.org/0000-0003-3783-3412>

Корб Т.А. — <https://orcid.org/0000-0001-9291-1466>

Гончар А.П. — <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>

Блохин И.А. — <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

Логунова Т.А. — <https://orcid.org/0000-0001-6036-2060>

Евтеева К.Б. — <https://orcid.org/0000-0002-0598-5289>

Андрейченко А.Е. — <https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>

Владзимирский А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Омелянская О.В. — <https://orcid.org/0000-0002-0245-4431>

Гомболевский В.А. — <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>

Автор, ответственный за переписку: Гончар А.П. — e-mail: anne.gonchar@gmail.com

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Морозов С.П., Гаврилов А.В., Архипов И.В., Долотова Д.Д., Лысенко М.А., Царенко С.В., Сморошок В.Н., Паршин В.В., КORB Т.А., Гончар А.П., Блохин И.А., Логунова Т.А., Евтеева К.Б., Андрейченко А.Е., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Гомболевский В.А. Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность описаний результатов компьютерной томографии пациентов с COVID-19 в стационарном звене здравоохранения. *Профилактическая медицина*. 2022;25(1):14–20. <https://doi.org/10.17116/profmed20222501114>

Effect of artificial intelligence technologies on the CT scan interpreting time in COVID-19 patients in inpatient setting

© S.P. MOROZOV¹, A.V. GAVRILOV², I.V. ARKHIPOV², D.D. DOLOTOVA³, M.A. LYSENKO⁴, S.V. TSARENKO⁴, V.N. SMORSHOK⁴, V.V. PARSHIN⁴, T.A. KORB¹, A.P. GONCHAR¹, I.A. BLOKHIN¹, T.A. LOGUNOVA¹, K.B. EVTVEEVA¹, A.E. ANDREYCHENKO¹, A.V. VLADZYMYRSKIY^{1,5}, O.V. OMELYANSKAYA¹, V.A. GOMBOLEVSKIY⁶

¹Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia;

²D.V. Skobel'syn Research Institute of Nuclear Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

³Gammamed-Soft, LLC, Moscow, Russia;

⁴City Clinical Hospital No. 52 of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia;

⁵I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia;

⁶Artificial Intelligence Research Institute (AIRI), Moscow, Russia

ABSTRACT

The practical utility of thoracic computed tomography (CT) imaging in patients with suspected coronavirus infection (COVID-19) has been repeatedly described. With a heavy workload during the pandemic, radiologists are pressed for time to interpret results. Artificial intelligence (AI) technologies can reduce the time needed for CT study interpretation and protocol generation.

Objective. To evaluate the effect of the AI algorithm on the chest CT scan interpretation time for suspected COVID-19 in an inpatient setting.

Material and methods. A retrospective study was conducted and the protocol is registered in ClinicalTrials.gov (NCT04489992). The study was based on the data of patients who underwent chest CT scan between 08.04.20 and 01.12.20 in 105 municipal inpatient healthcare organizations. Chest CT scans were performed according to standard scanning protocols. The radiologists analyzed the scans with and without the Gamma Multivox Covirus AI service. The generation of medical report protocols was carried out in the Unified Radiology Information Service as part of the Unified Medical Information and Analytical System of Moscow.

Results. 3133 CT studies with signs of COVID-19-associated pneumonia were analyzed without the AI (Group 1) and 63,379 with the AI (Group 2). The median interpretation time in Groups 1 and 2 was 103.0 and 46.0 min, respectively. Analysis of the radiologist's chest CT findings interpretation time before and after AI implementation showed significant differences ($p < 0.0001$). The average chest CT interpretation time when using AI decreased by 29.4%.

Conclusion. The introduction of AI technology aimed at the pulmonary changes detection in COVID-19 according to chest CT scanning into the practical work of inpatient radiology departments reduces the time of the interpretation protocol generation by radiologists.

Keywords: COVID-19, coronavirus, computed tomography, artificial intelligence, radiology.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Morozov S.P. — <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>

Gavrilov A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-7838-584X>

Arkhipov I.V. — <https://orcid.org/0000-0003-4278-2285>

Dolotova D.D. — <https://orcid.org/0000-0002-5538-1109>

Lysenko M.A. — <https://orcid.org/0000-0001-6010-7975>

Tsarenko S.V. — <https://orcid.org/0000-0002-7065-5331>

Smorshok V.N. — <https://orcid.org/0000-0002-1998-261X>

Parshin V.V. — <https://orcid.org/0000-0003-3783-3412>

Korb T.A. — <https://orcid.org/0000-0001-9291-1466>

Gonchar A.P. — <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>

Blokhin I.A. — <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

Logunova T.A. — <https://orcid.org/0000-0001-6036-2060>

Evtveeva K.B. — <https://orcid.org/0000-0002-0598-5289>

Andreychenko A.E. — <https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>

Vladzimirskiy A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Omel'yanskaya O.V. — <https://orcid.org/0000-0002-0245-4431>

Gomboleviskiy V.A. — <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>

Corresponding author: Gonchar A.P. — e-mail: anne.gonchar@gmail.com

TO CITE THIS ARTICLE:

Morozov SP, Gavrilov AV, Arkhipov IV, Dolotova DD, Lysenko MA, Tsarenko SV, Smorshok VN, Parshin VV, Korb TA, Gonchar AP, Blokhin IA, Logunova TA, Evtveeva KB, Andreychenko AE, Vladzimirskiy AV, Omelyanskaya OV, Gomboleviskiy VA. Effect of artificial intelligence technologies on the CT scan interpreting time in COVID-19 patients in inpatient setting. *The Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(1):14–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed20222501114>

Введение

Ранее неоднократно описана практическая ценность компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки для диагностики пациентов с подозрением на коронавирусную инфекцию (COVID-19) [1]. Несмотря на то что «золотым стандартом» для клинической диагностики COVID-19 является полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР), у КТ есть одно несомненное преимущество перед ОТ-ПЦР: скорость выполнения (до 15 мин) [2]. При этом ключевым фактором является правильная интерпретация результатов КТ-исследования.

В условиях пандемии в ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» Москвы при участии экспертного профессионального сообщества разработаны методические рекомендации по организации, проведению и интерпретации результатов лучевой диагностики при COVID-19 [3]. Для стандартизации была внедрена упрощенная система оценок степени тяжести поражения легочной ткани по шкале «КТ 0—4». Также проведены исследования, оценивающие специфичность КТ для диагностики пневмонии при COVID-19 по сравнению с другими заболеваниями легких и диагностическую точность этого метода для определения необходимости госпитализации пациентов с COVID-19 [4, 5]. Дополнительно разработаны методические рекомендации по дифференциальной диагностике COVID-19 от других патологических изменений легких у госпитализированных пациентов [6].

В 2020 г. проведена целостная мобилизация службы лучевой диагностики Москвы, включающая Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и его дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы (далее — Эксперимент) [7]. В связи с эпидемией новой коронавирусной инфекции в Эксперимент была включена отдельная задача по анализу КТ органов грудной клетки для диагностики поражений легких при COVID-19 [8]. До запуска Эксперимента была проведена подготовительная работа по разработке методологии проведения клинических испытаний технологий искусственного интеллекта (ИИ) [9]. Поскольку в начале 2020 г. компании — разработчики алгоритмов ИИ, способные участвовать в Эксперименте, остро нуждались в КТ-данных с проявлениями COVID-19 для обучения и валидации сервисов ИИ, ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» Москвы подготовил и опубликовал в открытом доступе один из наиболее крупных в мире наборов данных КТ грудной клетки с изменениями в легких при COVID-19 [10]. Алгоритмы ИИ, основанные на использовании этого набора, способны проводить дифференциальную диагностику COVID-19, бактериальной пневмонии и злокачественных новообразований по данным КТ [11].

В ходе реализации Эксперимента были подведены промежуточные итоги внедрения сервисов ИИ для диагностики COVID-19, однако оригинальное исследование по оценке влияния ИИ на время работы врача-рентгенолога в стационарных медицинских организациях не выполнялись [12].

Цель исследования — оценить влияние алгоритма ИИ на скорость описания результатов КТ органов грудной клетки при подозрении на COVID-19 в стационарном звене городского здравоохранения.

Материал и методы

Дизайн исследования. Ретроспективное исследование выполнено на материалах Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и его дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы (протокол зарегистрирован в международной базе данных ClinicalTrials.gov, NCT04489992). Проведение Эксперимента было одобрено независимым этическим комитетом МРО РОПР.

Материалы исследования. В период с 08.04.20 по 01.12.20 в медицинских организациях Москвы были выполнены КТ-исследования органов грудной клетки пациентов с подозрением на COVID-19 в соответствии с действующей нормативно-правовой базой. В рамках Эксперимента часть автоматизированных рабочих мест врачей-рентгенологов была оснащена технологиями ИИ — так называемыми ИИ-сервисами, интегрированными в Единый радиологический информационный сервис в составе Единой медицинской информационно-аналитической системы Москвы (ЕРИС ЕМИАС). При формировании протоколов врачи-рентгенологи могли использовать данные автоматизированного анализа результатов лучевых исследований. В любом случае оценка степени поражения легочной ткани при COVID-19 проводилась по шкале «КТ 0—4». В соответствии с планом маршрутизации результатов лучевых исследований в рамках Эксперимента 390 врачей-рентгенологов могли применять ИИ-сервисы при интерпретации результатов КТ пациентов с COVID-19. Контрольную группу составили 57 врачей-рентгенологов, проводивших аналогичные описания, но без автоматизации.

Анализ длительности описаний результатов КТ выполняли с учетом принципов аналитического (поэлементного) метода нормирования труда. Определяли вид работ в соответствии с действующей номенклатурой: описание и интерпретацию компьютерных томограмм. Способом получения информации являлась выгрузка данных отчетности в информационной системе в сфере здравоохранения субъекта Российской Федерации. Данные получали по сформированному запросу из ЕРИС ЕМИАС при содействии сотрудников Департамента информационных технологий Москвы. Временем подготовки описания считали период от момента регистрации исследования в системе ЕРИС ЕМИАС до момента визирования заключения врачом-рентгенологом.

В исследование были включены данные о длительности описаний результатов КТ органов грудной клетки без внутривенного контрастирования, которые были выполнены в 105 медицинских организациях стационарного звена здравоохранения Москвы. Всего для анализа были отобраны 66 512 исследований. Использовали следующие критерии включения и исключения данных.

Критерии включения: КТ-исследования органов грудной клетки мужчин и женщин, направленные на исследование с подозрением на пневмонию COVID-19; КТ-исследования, проведенные в стационарных медицинских организациях; оценка поражения легочной ткани проведена по шкале КТ 0—4 [3]; формирование протоколов описания КТ выполнено в ЕРИС ЕМИАС; возраст пациентов от 18 до 90 лет.

Критерии исключения: КТ-исследования, в заключении которых указаны прочие изменения, не связанные с вирусной пневмонией.

Оборудование и КТ-протокол. КТ-исследования проводили на компьютерных томографах (Toshiba Aquilion 64, Canon Medical Systems, Япония; HiSpeed GE, США; Optima CT 660, GE, США; Somatom Emotion 16, Siemens, Германия; Somatom Sensation 40, Siemens, Германия) по стандартным протоколам сканирования органов грудной клетки, рекомендуемым производителями.

Программное обеспечение на основе технологий искусственного интеллекта. Для анализа КТ-исследований использовали программное обеспечение «Гамма Мультивокс Ковирус» (номер свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2020615776, eLibrary ID: 43885466), предназначенное для врачей-рентгенологов и анестезиологов-реаниматологов (рис. 1). Алгоритм в автоматическом режиме позволяет получить качественные и количественные данные о патологических областях легких, что является основой для тактики ведения пациентов с COVID-19.

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- регистрацию изображений легких в стандарте DICOM после проведения КТ, построение трехмерных (3D) изображений легких;

- обработку изображений с целью сегментации патологических изменений («матовое стекло», плотное «матовое стекло», уплотнения/консолидации, сосуды) и вычисление их объемов с последующей цветной маркировкой;

- представление результатов вычисления объемов поражений легких в виде таблицы для оценки при динамических обследованиях и принятия лечебных решений в процессе ведения пациентов с коронавирусной инфекцией.

Методы статистического анализа. В статистический анализ были включены все имеющиеся данные по длительности интерпретации КТ органов грудной клетки в стационарном звене при использовании системы ИИ и без нее. Для представления результатов использовали методы описательной статистики с указанием следующих характеристик: число непропущенных значений (N), минимальное значение (min), максимальное значение (max), арифметическое среднее (M), стандартное отклонение (SD), 95% доверительный интервал (ДИ) для среднего, медиана (Me), первый (Q₁) и третий (Q₃) квартили. С учетом отличного от нормального распределения, медиана и среднее являлись взаимодополняемыми характеристиками. В связи

Описательная статистика данных по длительности интерпретации компьютерной томографии органов грудной клетки в стационарном звене (мин)

Descriptive statistics of data on the chest CT interpretation time in the inpatient setting (min)

Параметр	Врач-рентгенолог без ИИ	Врач-рентгенолог с ИИ
N	3133	63 379
Me	184,6	130,3
SD	197,4	216,0
95% ДИ	177,7—191,5	128,6—132,0
Min	0	0
Max	1420	1440
Me	103	46
Q ₁	42	22
Q ₃	278	130
p (t-test)	<0,0001	
Difference (95% ДИ)	54,3 (46,6—62,0)	

с этим представлялось целесообразным давать обе эти характеристики центральной тенденции. В силу центральной предельной теоремы (CLT) любая статистическая характеристика выборки будет иметь нормальное распределение вне зависимости от распределения исходной величины. В связи с этим, учитывая очень большой размер выборки, правомерно использовать параметрические методы анализа. Таким образом, сравнение данных между группами врачей проводили с помощью *t*-теста. За уровень статистической значимости принимали значение 0,05 (двустороннее). Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Stata14.

Результаты

В исследование были включены 3133 исследования с признаками пневмонии COVID-19 для обработки врачом без системы ИИ (1-я группа) и 63 379 исследований для обработки с использованием ИИ (2-я группа). Детальная информация о длительности описаний в обеих группах представлена в (см. таблицу).

Медианная длительность описания в 1-й и 2-й группах составила 103,0 и 46,0 мин соответственно. Гистограмма дли-

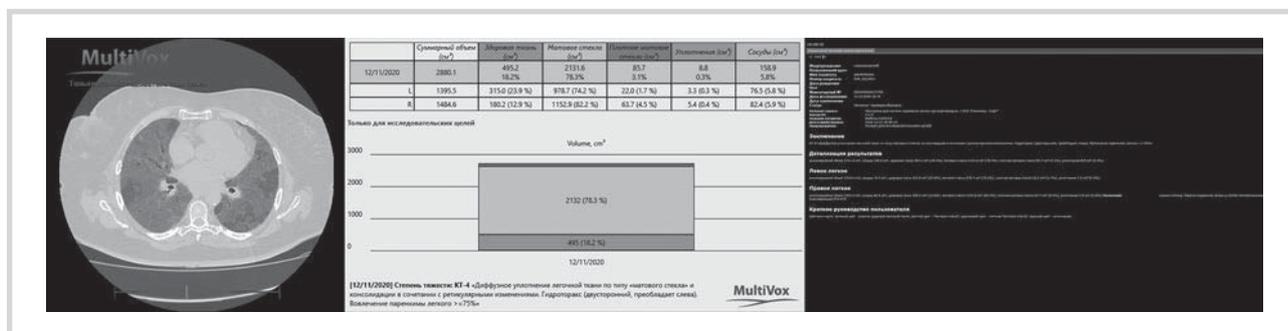


Рис. 1. КТ-изображение с автоматической обработкой алгоритмом «Гамма Мультивокс Ковирус» (а), с дополнительной суммарной информацией о поражении легких (б) и информацией в формате DICOM SR, доступной рентгенологу во время формирования заключения (в).

Fig. 1. CT image with automatic processing by Gamma Multivox Covirus algorithm (a), with additional summary information about lung lesion (b) and information in DICOM SR format available to radiologist during report generation (c).

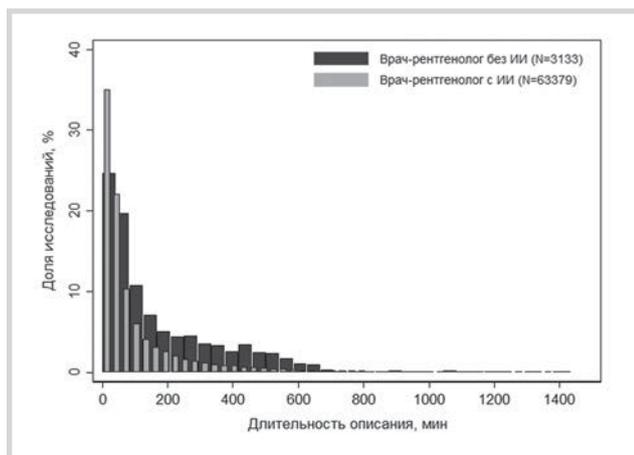


Рис. 2. Медианная длительность описания КТ органов грудной клетки в группах «врач-рентгенолог с ИИ» (красные столбцы), «врач-рентгенолог без ИИ» (синие столбцы).

По оси абсцисс — длительность описания в минутах; по оси ординат — доля исследований в процентах.

Fig. 2. Median chest CT interpretation time in the groups «radiologist with AI» (red bars), «radiologist without AI» (blue bars).

At the x-axis — interpretation time (min); at the y-axis — studies proportion (%).

тельности описания исследования в зависимости от группы представлена на **рис. 2**. Продолжительность интерпретации результатов КТ органов грудной клетки при использовании технологий ИИ была меньше, различия оказались статистически значимы ($p < 0,0001$). Средняя длительность обработки исследования КТ органов грудной клетки при применении ИИ уменьшилась на 29,4%, медианная — на 55,3%.

Обсуждение

Результаты проведенного исследования показали, что алгоритм ИИ «Гамма Мультивокс Ковирус» снижает время обработки КТ органов грудной клетки пациентов с признаками COVID-19.

Результаты настоящей работы соответствуют данным, полученным в ретроспективном исследовании С. Jin и соавт. [13], в котором система ИИ превзошла врачей-рентгенологов по скорости описания компьютерных томограмм органов грудной клетки более чем на 90% (среднее время интерпретации составило 2,73 с против 6,5 мин). Преимуществом исследования С. Jin и соавт. являлась оценка системы ИИ на большом наборе данных, разделенном на несколько групп: исследования томограмм с признаками пневмонии COVID-19, гриппа, невирусной внебольничной пневмонии и другой патологии органов грудной клетки. Наряду с этим ограничением данной работы было сравнение системы ИИ только с 5 врачами-рентгенологами. В настоящем исследовании принимали участие более 300 рентгенологов стационарного звена Москвы.

В исследовании Q. Ni и соавт. [14] также была проведена оценка эффективности использования ИИ в рамках сокращения времени на интерпретацию компьютерных томограмм органов грудной клетки пациентов при пневмонии COVID-19: в среднем на обработку исследования системой ИИ уходило в 4 раза меньше времени, чем врачом. Тем не менее в этой работе оценка КТ органов грудной клетки проводилась 3 молодыми врачами-ординаторами на выборке из 96 пациентов, причем 87,5% компьютерных

томограмм были сделаны в одном медицинском учреждении, что вводит определенные ограничения в воспроизводимости результатов.

Схожие результаты представлены и в исследовании J. Yao и соавт. [15], в котором система ИИ проводила оценку изображений примерно в 300 раз быстрее врача-рентгенолога. Несмотря на то, что, помимо молодых врачей, в сравнении участвовали специалисты с опытом более 10 лет, все равно система ИИ показала лучшую производительность. Таким образом, в очередной раз подтверждается эффективность использования систем ИИ в рамках большого потока исследований и высокой нагрузки на специалистов разного уровня.

Ранее были опубликованы данные, свидетельствующие о повышении эффективности работы рентгенологов в дифференциации пневмонии COVID-19 от пневмонии другой этиологии с помощью ИИ-сервисов [16]. Так, в работе H. Vai и соавт. [16] было продемонстрировано, что рентгенологи с помощью системы ИИ достигали более высоких диагностических показателей, чем без нее, в том числе средней точности (90% против 85%), чувствительности (88% против 79%) и специфичности (91% против 88%). В работе Y. Yang и соавт. [17] было описано повышение при использовании ИИ средней точности и чувствительности исследований с 0,941 до 0,951 и с 0,895 до 0,942 соответственно, по сравнению с работой врачей-рентгенологов без участия ИИ. Однако, в отличие от настоящего исследования, в вышеуказанных работах авторы не проводили оценку скорости обработки исследований.

K. Zhang и соавт. [18] проводили исследование, где также сравнивали эффективность алгоритма ИИ и работы рентгенологов в диагностике пневмонии COVID-19, однако по системе взвешенных ошибок. В исследовании K. Zhang и соавт. рентгенологи были распределены по группам: младшая (с опытом работы от 5 до 15 лет), старшая (с опытом работы от 15 до 25 лет) и контрольная (с опытом работы более 25 лет). Было доказано, что система ИИ дает возможность повышения эффективности работы младших радиологов до уровня старших.

В проведенном Эксперименте в Москве сравнивали распределение категорий КТ 0–4 в заключениях врачей-рентгенологов, которые использовали результаты работы ИИ, и врачами, которые работали без ИИ [19]. По результатам проведенного исследования выяснилось, что врачи с помощью ИИ реже выставляли КТ0 и тяжелые степени поражения легких — КТ3–4. Таким образом, использование ИИ может позволить точнее определять степень поражения легких, что, в свою очередь, улучшит оценку для прогнозирования летальных исходов среди пациентов, которым выполнена КТ органов грудной клетки [20].

Приоритезация исследований в рабочем списке врача представляется другим способом повышения эффективности работы врача-рентгенолога с помощью ИИ. Так, на примере анализа КТ головного мозга при подозрении на внутричерепное кровоизлияние сортировка исследований с помощью систем ИИ на исследования с наличием или отсутствием патологии позволяет значительно сократить время, что критически важно в неотложных ситуациях [21, 22]. В рамках Эксперимента одним из базовых функциональных требований является наличие сообщений в единой системе уведомлений о наличии целевых патологических изменений как одного из результатов обработки исследований ИИ-сервисом [23].

Ограничение исследования. Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, это ретроспективный дизайн. Кроме того, оценку степени согласия рентгенологов осуществляли с одним алгоритмом ИИ «Гамма Мультивокс Ковирус», что не может гарантировать высокую эффективность остальных сервисов. Также, поскольку анализ диагностических показателей данного алгоритма регулярно выполняется в рамках Эксперимента [24], была рассмотрена только скорость интерпретации исследований.

Заключение

Применение технологий ИИ при интерпретации результатов КТ органов грудной клетки у пациентов с подозрением на COVID-19 сокращает медианную длительность описания (формирования протокола) в стационарном звене здравоохранения на 55,3%.

Увеличение производительности работы врачей-рентгенологов может повлиять на тактику ведения пациентов, оптимизируя скорость маршрутизации, улучшая прогноз заболевания и тем самым оказывая положительный эффект на систему здравоохранения в целом.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования — С.П. Морозов, А.В. Владимирский, В.А. Гомболевский; сбор и обработка материала — И.В. Архипов, Д.Д. Долотова, Т.А. Логунова, К.Б. Евтеева, А.Е. Андрейченко, О.В. Омелянская; статистическая обработка данных — И.А. Блохин, А.Е. Андрейченко; написание текста — Т.А. Корб, А.П. Гончар, И.А. Блохин, В.А. Гомболевский; редактирование — С.П. Морозов, А.В. Гаврилов, С.В. Царенко, М.А. Лысенко, В.Н. Сморок, В.В. Паршин, А.В. Владимирский.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.
The authors declare no conflict of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Морозов С.П., Решетников Р.В., Гомболевский В.А., Ледихова Н.В., Блохин И.А., Мокиенко О.А. Диагностическая точность компьютерной томографии для определения необходимости госпитализации пациентов с COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):5-16. Morozov SP, Reshetnikov RV, Gombolevskiy VA, Ledikhova NV, Blokhin IA, Mokienko OA. Diagnostic accuracy of computed tomography for identifying hospitalizations for patients with COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):5-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/DD46818>
2. Morozov S, Ledikhova N, Panina E, Polishchuk N, Shulkin I, Baryshov V, Mokienko O, Reshetnikov R, Gombolevskiy V. Re: Controversy in coronar-Viral Imaging and Diagnostics (COVID). *Clin Radiol*. 2020;75(11):871-872. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2020.07.023>
3. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., Андрейченко А.Е., Амброси О.Е., Баланик Э.А., Владимирский А.В., Ветшева Н.Н., Гомболевский В.А., Епифанова С.В., Ледихова Н.В., Лобанов М.Н., Павлов Н.А., Панина Е.Б., Полищук Н.С., Ридэн Т.В., Соколова И.А., Туравилова Е.В., Федоров С.С., Чернина В.Ю., Шулькин И.М. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов. *Препринт №ЦДТ — 2020 — II. Версия 2 от 17.04.20. Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики*. Вып. 65. М.: НПКЦ ДиТ ДЗМ; 2020. Morozov SP, Procenko DN, Smetanina SV, Andrejchenko AE, Ambrosi OE, Balanyuk EA, Vladzimirskij AV, Vetsheva NN, Gombolevskij VA, Epifanova SV, Ledikhova NV, Lobanov MN, Pavlov NA, Panina EB, Polishchuk NS, Riden TV, Sokolina IA, Turavilova EV, Fedorov SS, Chernina VYu, Shul'kin IM. *Lučevaya diagnostika koronavirusnoj bolezni (COVID-19): organizacija, metodologija, interpretacija rezul'tatov*. Preprint №CDT — 2020 — II. Versiya 2 ot 17.04.20. *Lučshie praktiki lučевой i instrumental'noj diagnostiki*. Вып. 65. М.: НПКЦ ДиТ ДЗМ; 2020. (In Russ.).
4. Корб Т.А., Гаврилов П.В., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Алешина О.О., Мокиенко О.А., Морозов С.П., Гомболевский В.А. Специфичность компьютерной томографии органов грудной клетки при пневмонии, ассоциированной с COVID-19: ретроспективное исследование. *Альманах клинической медицины*. 2021;49(1):1-10. Korb TA, Gavrilov PV, Chernina VYu, Blokhin IA, Aleshina OO, Mokienko OA, Morozov SP, Gombolevskij VA. Specificity of chest computed tomography in COVID-19-associated pneumonia: a retrospective study. *Almanac of Clinical Medicine*. 2021;49(1):1-10. (In Russ.). <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2021-49-001>
5. Морозов С.П., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Гомболевский В.А. Прогнозирование исходов при лабораторно верифицированном COVID-19 по данным компьютерной томографии органов грудной клетки: ретроспективный анализ 38 051 пациента. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):27-36. Morozov SP, Chernina VYu, Blokhin IA, Gombolevskiy VA. Chest computed tomography for outcome prediction in laboratory-confirmed COVID-19: A retrospective analysis of 38,051 cases. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):27-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/DD46791>
6. Агеев Ф.А., Амброси О.Е., Анциферов М.Б., Белевский А.С., Буланов А.Ю., Васильева Е.Ю., Журавлева М.В., Загребнева А.И., Зайратьянц О.В., Лысенко М.А., Мазус А.И., Морозов С.П., Петриков С.С., Плавунов Н.Ф., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., Токарев А.С., Тяжелников А.А., Урожаева Ю.В., Фомина Д.С., Цибин А.Н., Цыганова Е.В., Чурадзе Б.Т. Клинический протокол диагностики новой коронавирусной инфекции (COVID-19) у больных, находящихся на стационарном лечении в медицинских организациях государственной системы здравоохранения города Москвы. М.: ГБУ НИИОЗММ ДЗМ; 2021. Ageev FA, Ambrosi OE, Anciferov MB, Belevskij AS, Bulanov AYU, Vasil'eva EYu, Zhuravleva MV, Zagrebneva AI, Zajrat'yanc OV, Lysenko MA, Mazus AI, Morozov SP, Petrikov SS, Plavunov NF, Procenko DN, Smetanina SV, Tokarev AS, Tyazhel'nikov AA, Urozhayeva YuV, Fomina DS, Cibin AN, Cyganova EV, Churadze BT. *Klinicheskiy protokol diagnostiki novoy koronavirusnoj infekcii (COVID-19) u bol'nyh, nahodjashihhsja na stacionarnom lechenii v medicinskih organizacijah gosudarstvennoj sistemy zdorovohraneniya goroda Moskvy*. М.: ГБУ НИИОЗММ ДЗМ; 2021. (In Russ.).
7. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В., Владимирский А.В., Трофименко И.А., Мокиенко О.А., Панина Е.В., Андрейченко А.Е., Омелянская О.В., Гомболевский В.А., Полищук Н.С., Шулькин И.М., Решетников Р.В. Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):5-12. Morozov SP, Kuzmina ES, Ledikhova NV, Vladzimirskij AV, Trofimenko IA, Mokienko OA, Panina EV, Andrejchenko AE, Omelyanskaya OV, Gombolevskij VA, Polishchuk NS, Shulkin IM, Reshetnikov RV. 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.). <https://doi.org/10.17816/DD51043>
8. Морозов С.П., Владимирский А.В., Ледихова Н.В., Андрейченко А.Е., Арзамасов К.М., Баланик Э.А., Гомболевский В.А., Ермолаев С.О., Живоденко В.С., Идрисов И.М., Кирпичев Ю.С., Логунова Т.А., Нуждина В.А., Омелянская О.В., Раковчен В.Г., Слепушкина А.В. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов. *Врач и информационные технологии*. 2020;4:14-23. Morozov SP, Vladzimirskij AV, Ledikhova NV, Andrejchenko AE, Arzamasov KM, Balanjuk EA, Gombolevskij VA, Ermolaev SO, Zhivodenko VS, Idrisov IM, Kirpichev JuS, Logunova TA, Nuzhdina VA, Omeljanskaja OV, Rakovchen VG, Slepushkina AV. Moscow experiment on computer vision in radiology: involvement and participation of radiologists. *Vrach i informacionnye tehnologii*. 2020;4:14-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-4-14-23>
9. Морозов С.П., Владимирский А.В., Кляшторный В.Г., Андрейченко А.Е., Кульберг Н.С., Гомболевский В.А. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). *Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»*. Вып. 57. М. 2019. Morozov SP, Vladzimirskij AV, Kljashtornyj VG, Andrejchenko AE, Kul'berg NS, Gombolevskij VA. *Klinicheskie ispytaniya programmnogo obespečeniya na osnove intellektual'nyh tehnologii (lučevaya diagnostika)*. Seriya «Lučshie praktiki lučевой i instrumental'noj diagnostiki». Вып. 57. М. 2019.

- spechenija na osnovе intelektual'nyh tehnologij (lučevaja diagnostika). Serija «Luchshie praktiki lučevoj i instrumental'noj diagnostiki». Вып. 57. М. 2019. (In Russ.).
10. Морозов С.П., Андрейченко А.Е., Блохин И.А., Гележе П.Б., Гончар А.П., Николаев А.Е., Павлов Н.А., Чернина В.Ю., Гомболевский В.А. MosMedData: датасет 1110 компьютерных томографий органов грудной клетки, выполненных во время эпидемии COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):49-59. Morozov SP, Andreychenko AE, Blokhin IA, Gelezhe PB, Gonchar AP, Nikolaev AE, Pavlov NA, Chernina VYu, Gombolevskiy VA. MosMedData: data set of 1110 chest CT scans performed during the COVID-19 epidemic. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):49-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/DD46826>
 11. Goncharov M, Pisov M, Shevtsov A, Shirokikh B, Kurmukov A, Blokhin I, Chernina V, Solovov A, Gombolevskiy V, Morozov S, Belyaev M. CT-Based COVID-19 triage: Deep multitask learning improves joint identification and severity quantification. *Med Image Anal*. 2021;71:102054. <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102054>
 12. Блохин И.А., Морозов С.П., Чернина В.Ю., Андрейченко А.Е., Шахабов И.В., Смышляев А.В., Гомболевский В.А. Использование искусственного интеллекта в здравоохранении: опыт валидации алгоритма искусственного интеллекта в медицинских организациях в условиях пандемии COVID-19. *Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены*. 2021;1:271-282. Blokhin IA, Morozov SP, Chernina VY, Andreychenko AE, Shakhobov IV, Smyshlyayev AV, Gombolevskiy VA. Artificial Intelligence in Healthcare: Validating an AI Algorithm in Health Institutions in the COVID-19 Pandemic (a Use Case). *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*. 2021;1:271-282. (In Russ.). <https://doi.org/10.14515/monitoring.2021.1.1736>
 13. Jin C, Chen W, Cao Y, Xu Z, Tan Z, Zhang X, Deng L, Zheng C, Zhou J, Shi H, Feng J. Development and evaluation of an artificial intelligence system for COVID-19 diagnosis. *Nat Commun*. 2020;11(1):5088. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18685-1>
 14. Ni Q, Sun ZY, Qi L, Chen W, Yang Y, Wang L, Zhang X, Yang L, Fang Y, Xing Z, Zhou Z, Yu Y, Lu GM, Zhang LJ. A deep learning approach to characterize 2019 coronavirus disease (COVID-19) pneumonia in chest CT images. *Eur Radiol*. 2020;30(12):6517-6527. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07044-9>
 15. Yao JC, Wang T, Hou GH, Ou D, Li W, Zhu QD, Chen WC, Yang C, Wang LJ, Wang LP, Fan LY, Shi KY, Zhang J, Xu D, Li YQ. AI detection of mild COVID-19 pneumonia from chest CT scans. *Eur Radiol*. 2021;31(9):7192-7201. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07797-x>
 16. Bai HX, Wang R, Xiong Z, Hsieh B, Chang K, Halsey K, Tran TML, Choi JW, Wang DC, Shi LB, Mei J, Jiang XL, Pan I, Zeng QH, Hu PF, Li YH, Fu FX, Huang RY, Sebros R, Yu QZ, Atalay MK, Liao WH. Artificial Intelligence Augmentation of Radiologist Performance in Distinguishing COVID-19 from Pneumonia of Other Origin at Chest CT. *Radiology*. 2020;296(3):156-165. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020201491>
 17. Yang Y, Lure FYM, Miao H, Zhang Z, Jaeger S, Liu J, Guo L. Using artificial intelligence to assist radiologists in distinguishing COVID-19 from other pulmonary infections. *J Xray Sci Technol*. 2021;29(1):1-17. <https://doi.org/10.3233/XST-200735>
 18. Zhang K, Liu X, Shen J, Li Z, Sang Y, Wu X, Zha Y, Liang W, Wang C, Wang K, Ye L, Gao M, Zhou Z, Li L, Wang J, Yang Z, Cai H, Xu J, Yang L, Cai W, Xu W, Wu S, Zhang W, Jiang S, Zheng L, Zhang X, Wang L, Lu L, Li J, Yin H, Wang W, Li O, Zhang C, Liang L, Wu T, Deng R, Wei K, Zhou Y, Chen T, Lau JY, Fok M, He J, Lin T, Li W, Wang G. Clinically Applicable AI System for Accurate Diagnosis, Quantitative Measurements, and Prognosis of COVID-19 Pneumonia Using Computed Tomography. *Cell*. 2020;181(6):1423-1433. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.045>
 19. Морозов С.П., Чернина В.Ю., Андрейченко А.Е., Владимирский А.В., Мокленко О.А., Гомболевский В.А. Как искусственный интеллект влияет на оценку поражения легких при COVID-19 по данным КТ грудной клетки? *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):27-38. Morozov SP, Chernina VY, Andreychenko AE, Vladzimirskij AV, Mokienko OA, Gombolevskiy VA. How does artificial intelligence effect on the assessment of lung damage in COVID-19 on chest CT scan? *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):27-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/DD60040>
 20. Морозов С.П., Гомболевский В.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Мокленко О.А., Владимирский А.В., Белевский А.С., Проценко Д.Н., Лысенко М.А., Зайратьянц О.В., Никонов Е.Л. Прогнозирование летальных исходов при COVID-19 по данным компьютерной томографии органов грудной клетки. *Туберкулез и болезни легких*. 2020;98(6):7-14. Morozov SP, Gombolevskiy VA, Chernina VYu, Blokhin IA, Mokienko OA, Vladzimirskiy AV, Belevskiy AS, Protsenko DN, Lysenko MA, Zayratyants OV, Nikonov EL. Prediction of lethal outcomes in COVID-19 cases based on the results chest computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020;98(6):7-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14>
 21. O'Neill TJ, Xi Y, Stehel E, Browning T, Ng YS, Baker C, Peshock RM. Active Reprioritization of the Reading Worklist Using Artificial Intelligence Has a Beneficial Effect on the Turnaround Time for Interpretation of Head CT with Intracranial Hemorrhage. *Radiology. Artificial intelligence*. 2020;3(2):e200024. <https://doi.org/10.1148/ryai.2020200024>
 22. Wismüller A, Stockmaster L. A prospective randomized clinical trial for measuring radiology study reporting time on Artificial Intelligence-based detection of intracranial hemorrhage in emergent care head CT. Proc. SPIE 11317, Medical Imaging 2020: Biomedical Applications in Molecular, Structural, and Functional Imaging, 113170M (28 February 2020). <https://doi.org/10.1117/12.2552400>
 23. Базовые функциональные требования к работе ИИ-сервисов. Сайт Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и его дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы mosmed.ai. 2021. Ссылка активна на 17.12.2021. Bazyovye funktsional'nye trebovaniya k rabote II-servisov. Sajt Eksperimenta po ispol'zovaniyu innovacionnyh tekhnologij v oblasti komp'yuternogo zreniya dlya analiza medicinskih izobrazhenij i ego dal'nejshego primeneniya v sisteme zdoravoohraneniya goroda Moskvy mosmed.ai. 2021. (In Russ.). https://mosmed.ai/documents/129/%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C_2021.pdf
 24. Лидерборд ИИ-сервисов: август 2021. Сайт Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и его дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы mosmed.ai. 2021. Ссылка активна на 17.12.21. Liderbord II-servisov: avgust 2021. Sajt Eksperimenta po ispol'zovaniyu innovacionnyh tekhnologij v oblasti komp'yuternogo zreniya dlya analiza medicinskih izobrazhenij i ego dal'nejshego primeneniya v sisteme zdoravoohraneniya goroda Moskvy mosmed.ai. 2021. (In Russ.). https://mosmed.ai/documents/137/%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B4_%D0%98%D0%98-%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%B2_%D0%B0%D0%B2%D0%B3%D1%83%D1%81%D1%82_2021.pdf

Поступила 21.09.2021

Received 21.09.2021

Принята к печати 12.11.2021

Accepted 12.11.2021