

DOI: [10.14515/monitoring.2021.1.1736](https://doi.org/10.14515/monitoring.2021.1.1736)



**И. А. Блохин, С. П. Морозов, В. Ю. Чернина, А. Е. Андрейченко,
И. В. Шахабов, А. В. Смышляев, В. А. Гомболевский**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ОПЫТ ВАЛИДАЦИИ АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19

Правильная ссылка на статью:

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. С. 271—282. <https://doi.org/10.14515/monitoring.2021.1.1736>.

For citation:

Blokhin I. A., Morozov S. P., Chernina V. Y., Andreychenko A. E., Shakhobov I. V., Smyshlyayev A. V., Gombolevskiy V. A. (2021) 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*. No. 1. P. 271–282. <https://doi.org/10.14515/monitoring.2021.1.1736>. (In Russ.)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ОПЫТ ВАЛИДАЦИИ АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19

БЛОХИН Иван Андреевич — младший научный сотрудник сектора исследований в лучевой диагностике, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы

E-MAIL: i.blokhin@npcmr.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

МОРОЗОВ Сергей Павлович — доктор медицинских наук, профессор, директор, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

E-MAIL: morozov@npcmr.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>

ЧЕРНИНА Валерия Юрьевна — руководитель сектора исследований в лучевой диагностике, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

E-MAIL: chernina909@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0302-293X>

АНДРЕЙЧЕНКО Анна Евгеньевна — руководитель сектора медицинской информатики, радиомики и радиогеномики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

E-MAIL: a.andreychenko@npcmr.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTH-CARE: VALIDATING AN AI ALGORITHM IN HEALTH INSTITUTIONS IN THE COVID-19 PANDEMIC (A USE CASE)

Ivan A. BLOKHIN¹ — Junior Researcher at the Radiology Research Sector

E-MAIL: i.blokhin@npcmr.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

Sergei P. MOROZOV¹ — Dr. Sci. (Med.), Professor, Director of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department

E-MAIL: morozov@npcmr.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>

Valeria Yu. CHERNINA¹ — Head of Radiology Research Sector

E-MAIL: chernina909@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0302-293X>

Anna E. ANDREYCHENKO¹ — Head of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics Division

E-MAIL: a.andreychenko@npcmr.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>

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

ШАХАБОВ Ислам Висханович — кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела научных медицинских исследований, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
E-MAIL: islam75@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6409-1384>

Islam V. SHAKHABOV¹ — *Cand. Sci. (Med.)*,
Researcher at the Medical Research Department
E-MAIL: islam75@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6409-1384>

СМЫШЛЯЕВ Алексей Викторович — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения научных основ организации амбулаторной помощи, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Министерства здравоохранения Российской Федерации», Москва, Россия
E-MAIL: alexeysmishlyaev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3099-2517>

Aleksey V. SMYSHLYAEV² — *Cand. Sci. (Med.)*,
Leading Researcher of the Department of Scientific Foundations of Organization of Outpatient Care
E-MAIL: alexeysmishlyaev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3099-2517>

ГОМБОЛЕВСКИЙ Виктор Александрович — кандидат медицинских наук, руководитель отдела научных медицинских исследований, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
E-MAIL: g_victor@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>

Viktor A. GOMBOLEVSKIY¹ — *Cand. Sci. (Med.)*,
Head of Medical Research Department
E-MAIL: g_victor@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>

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

² Federal Research Institute for Health Organization and Informatics of Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы современности в сфере охраны здоровья граждан. Многочисленные вызовы вынуждают предпринимать действия, повышающие скорость оказания медицинской помощи и ее доступность при сохранении качества. Одним из инновационных решений этого вопроса может быть внедрение систем автоматического анализа данных, основанных на искусственном интеллекте.

Abstract. The paper considers new challenges related to public health. Action is needed to improve access to healthcare while maintaining its quality. The introduction of AI-based automated data analysis systems can be a solution to that. The present study seeks to assess the use of AI in outpatient care to detect pathological changes in the lungs typical of a coronavirus amidst the pandemic. The sample size was 600 patients. The

Проведено исследование, цель которого — оценить эффективность применения в амбулаторных условиях в период пандемии искусственного интеллекта, направленного на выявление патологических изменений в легких, характерных для COVID-19. Объем выборки составил 600 пациентов, проведены статистическая и аналитическая обработка результатов. Установлено, что чувствительность метода составила 94 %, специфичность — 77 %, точность — 83 %, площадь под характеристической кривой — 87 %. Зафиксирован уровень прогностической ценности отрицательного результата — 97 %, положительного результата — 66 %. Полученные данные свидетельствуют о надежном отсеивании алгоритмом результатов компьютерной томографии без признаков патологических изменений в легких. Сделан вывод о возможности применения искусственного интеллекта в здравоохранении на современном этапе — в условиях пандемии COVID-19 это крайне актуально и позволяет увеличить эффективность диагностики заболеваний. Алгоритмы ИИ также могут быть использованы для медицинской сортировки пациентов вне условий пандемии, что повысит доступность медицинской помощи.

Ключевые слова: искусственный интеллект, медицинская помощь, лучевая диагностика, здравоохранение, пандемия, COVID-19

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии финансирования всех этапов данного исследования.

results were statistically and analytically processed. The sensitivity attained 94%; the specificity, accuracy and the area under the ROC curve were 77%, 83%, and 87%, respectively. The negative predictive value was 97%; the positive predictive value was 66%. The data obtained show that the algorithm separates the CT scan results having no abnormalities in the lungs. The authors conclude that the usage of AI technologies helped to improve diagnostic accuracy during the COVID-19 pandemic. Artificial intelligence algorithms can also work with patients in non-pandemic times, thus improving healthcare access.

Keywords: artificial intelligence, medical aid, radiology, healthcare, pandemic, COVID-19

Благодарность. Авторы выражают глубокую признательность коллективам отделений лучевой диагностики медицинских организаций, оказывающих первичную медико-санитарную помощь взрослому населению Москвы. Авторы благодарят за сплоченную работу коллектив Департамента информационных технологий города Москвы и ООО «Лаваль», обеспечивающих внедрение искусственного интеллекта в практическое здравоохранение на уровне крупного мегаполиса. Кроме этого, авторы отдельно благодарят разработчиков компании Vinomics ray. Каждый из участников процесса приложил важные усилия к исследованию в непростой период эпидемии.

Введение

Проблемы старения населения, увеличения потока пациентов, значительный рост баз данных и научно-методических материалов, подлежащих обработке — все это вызовы для здравоохранения. На фоне этих изменений повышается нагрузка на врачебный персонал, нехватка которого ощутима в настоящее время. Одновременно с этим система здравоохранения быстро меняется, трансформируясь из аналоговой в цифровую информационную среду и набирая огромные массивы данных. Вычислительные мощности развиваются по закону Мура, удваиваясь каждые два года. Эти компоненты обуславливают необходимость и возможность анализа больших данных. В свете вышеперечисленного возможным решением представляется внедрение систем автоматического анализа данных, основанных на алгоритмах машинного обучения — «искусственного интеллекта» (далее — ИИ). Валидированный алгоритм ИИ сопоставим с работой врача в отношении качества анализа материала, но превосходит его по скорости обработки и охвату данных, что способствует совершенствованию лечебно-диагностических процессов. Другими словами, возможности ИИ позволяют осуществлять дополнительное обучение на клинических данных, оптимизировать лечение, прогнозирование и тактику ведения пациента, улучшать процесс отбора пациентов для участия в клинических испытаниях, снижать количество ошибок. Благоприятная основа для развития алгоритмов ИИ — структурированные и стандартизированные данные, именно поэтому в нашем случае они представляют наибольшую ценность.

Повышение нагрузки на медицинский персонал ведет к увеличению вероятности врачебных ошибок из-за влияния человеческого фактора. Это требует поиска новых инструментов, направленных на повышение скорости и качества работы медицинского персонала. ИИ в такой ситуации может оказаться чрезвычайно

эффективным. В перспективе возможна передача ИИ части врачебных компетенций первого (элементарного) уровня.

Для национальных систем здравоохранения наиболее остро встает вопрос использования ИИ в чрезвычайных ситуациях. Так, в январе 2020 г. Всемирная организация здравоохранения объявила чрезвычайную ситуацию из-за распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19, и национальные системы здравоохранения были вынуждены перейти к работе в «нештатном» режиме. В период пандемии COVID-19 актуальность использования ИИ в здравоохранении резко возросла: это обусловлено повышением уровня заболеваемости и смертности населения. По официальным данным, уже к середине 2020 г. в мире было зарегистрировано более 6 млн подтвержденных случаев заболевания и более 375 тыс. летальных случаев [Dong et al., 2020b].

ИИ необходим главным образом для повышения доступности медицинской помощи через оптимизацию сортировки пациентов, то есть для определения вероятности заболевания и формирования «первого мнения» до интерпретации данных врачом. Так, многие вендоры¹ представляют свои решения ИИ для анализа рентгенографии органов грудной клетки [Murphy et al., 2020], однако компьютерная томография (далее — КТ) имеет более высокую диагностическую ценность в отношении тактики ведения пациента [Lee et al., 2020]. Помимо этого, ИИ или другие методы количественного анализа изображений необходимы для ускорения анализа медицинских изображений при эпидемии COVID-19 [Dong et al., 2020a]. В настоящее время исследования в области ИИ привели к использованию таких инструментов, как объективная оценка объема неповрежденной ткани легкого по сравнению с пораженной [Belfiore et al., 2020]. Однако до сих пор отсутствуют публикации, посвященные использованию ИИ как эффективного инструмента повышения доступности лечебно-диагностических мероприятий посредством увеличения пропускной способности диагностических каналов через сортировку пациентов на ранних этапах диагностики. Стоит отметить, что в условиях эпидемии появление автоматизированного инструмента, способного повлиять на сортировку первичных пациентов, представляет собой важный организационно-управленческий аспект в борьбе с COVID-19 [Dong et al., 2020b]. До настоящего времени не проводилось сравнение возможностей ИИ на подготовленном тестовом датасете и в реальной практике для триажа (сортировки) пациентов в условиях пандемии [Fang et al., 2020]. Все это становится более актуальным в контексте текущих эпидемиологических вызовов, которые испытывают на прочность национальные системы здравоохранения.

Цель исследования — оценить эффективность ИИ в диагностике заболеваний в условиях медицинских организаций, оказывающих амбулаторную помощь во время пандемии COVID-19.

Материалы и методы

Для оценки эффективности ИИ в медицинских организациях, оказывающих помощь в амбулаторных условиях, проведено ретроспективное многоцентровое

¹ Вендор — компания, которая разрабатывает и/или поставляет заказчикам собственные продукты, технологии, услуги под своим товарным знаком (брендом).

диагностическое исследование. Организационно-методическое обеспечение, статистическая и аналитическая обработка результатов выполнена сотрудниками ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ» (далее — НПКЦ ДиТ ДЗМ). Осуществлялась валидация алгоритма ИИ по выявлению патологических изменений в легких, характерных для COVID-19. В исследование были включены анонимизированные результаты компьютерной томографии органов грудной клетки из 53 амбулаторных медицинских организаций города Москвы.

Оценка степени поражения COVID-19 по данным КТ органов грудной клетки на территории Российской Федерации проводится на основании визуальной полуколичественной шкалы [Лучевая диагностика..., 2020]. Визуальный количественный анализ изменений на КТ органов грудной клетки помогает оценивать клиническую тяжесть COVID-19 [Sverzellati et al., 2020]. По КТ-данным оценивался объем нормально аэрированного легкого при первоначальной КТ органов грудной клетки, коррелирующий с прогнозом у пациентов, поступивших в приемное отделение неотложной помощи с пневмонией.

Объем выборки составил 600 пациентов европеоидной расы: 265 мужчин (средний возраст $54 \pm 17,3$ лет) и 335 женщин (средний возраст $52,6 \pm 16,8$ лет). При анализе результаты исследований были разделены авторами на три группы: группа № 1 «Вирусные пневмонии» (ранние признаки COVID-19) ($n = 172$); группа № 2 «Неизмененные легкие» ($n = 195$), группа № 3 «Другие патологии в легких» ($n = 174$). Критерии для включения в группу 1: инфильтрация легочной паренхимы по типу матовых стекол с обеих сторон, преимущественно периферической локализации; инфильтрация легочной паренхимы по типу «булыжной мостовой» (утолщение междолькового интерстиция на фоне «матового стекла») с обеих сторон, преимущественно периферической локализации; инфильтрация легочной паренхимы по типу консолидации с положительным признаком воздушной бронхограммы при наличии пункта 1 или пункта 2. Критерий для включения в группу 2 — отсутствие признаков вирусной пневмонии по результатам проведения КТ органов грудной клетки, в группу 3 — наличие патологического процесса в легких, отличного от пневмонии.

Каждое исследование интерпретировано в два этапа. Первично — врачом-рентгенологом, непосредственно проводившим исследование; второе чтение одномоментно проводилось двумя независимыми экспертами до достижения консенсуса. При отсутствии расхождений во мнении исследование относили к одной из трех групп. Алгоритм ИИ состоял из многоэтапной обработки исследования нейронной сетью и был интегрирован в Единый радиологический информационный сервис (далее — ЕРИС), охватывающий 53 отделения лучевой диагностики амбулаторно-поликлинического звена г. Москвы. Результаты проводимых исследований подвергались автоматизированному анализу. Врач, непосредственно проводивший исследование, оценивал решения алгоритма посредством формы обратной связи, интегрированной в ЕРИС. Далее исходное исследование передавалось экспертам для ретроспективной оценки. По завершении сбора данных произведено сопоставление решений алгоритма с результатами референс-теста, построена четырехпольная таблица, осуществлены расчет показателей (чувствительность,

специфичность, точность (общая валидность), отношение правдоподобия и прогностическая ценность положительного/отрицательного результата), построена и проанализирована характеристическая кривая (ROC-кривая). Для каждого из указанных диагностических показателей рассчитан 95% доверительный интервал (ДИ).

Проводилась статистическая и аналитическая обработка результатов.

Результаты

Результаты исследований были разделены на три группы: Группа 1 — «Вирусные пневмонии» (ранние признаки COVID-19) ($n = 172$); Группа 2 — «Неизменные легкие» ($n = 195$); Группа 3 — «Другие патологии в легких» ($n = 174$). Все результаты обследования проанализированы с применением оригинального алгоритма ИИ. ИИ-сервис обработал 541 обследование (89,3%). Решения алгоритма ИИ сопоставлены с референс-тестом, значения которого приняты за истинный статус обследуемых лиц. В результате получено 162 истинно-положительных результата, 285 — истинно-отрицательных, 84 — ложноположительных, 10 — ложноотрицательных. Установлены следующие показатели: чувствительность — 94%, специфичность — 77%, точность — 83%, площадь под характеристической кривой — 87%. В условиях пандемии COVID-19 и связанного с нею непрерывного потока пациентов, которым проводилось обследование, протестированный алгоритм ИИ показал высокую прогностическую ценность отрицательного результата (97%). Это означает крайне высокую гарантию отсутствия признаков заболевания (вирусной пневмонии) в случаях, которые были отнесены алгоритмом ИИ к группам 2 и 3. Данный результат представляется наиболее значимым, доказывающим возможность применения технологий ИИ для сортировки пациентов в амбулаторных условиях. Вместе с тем оцениваемый алгоритм ИИ имеет относительно низкое значение прогностической ценности положительного результата (66%). Это означает, что в условиях пандемии COVID-19 и высокой априорной вероятности наличия признаков соответствующего заболевания (вирусной пневмонии) ценность алгоритма ИИ, указывающего на наличие у пациента пневмонии, вызванной именно COVID-19, представляется низкой.

Полученные нами значения свидетельствуют об удовлетворительном качестве алгоритма ИИ. Чувствительность индекс-теста составляет 94%, специфичность — 77%, точность — 83%. Эксперты, проводившие анализ результатов работы алгоритма, отметили следующие особенности взаимодействия: качественная оценка локализации неудовлетворительная, присутствие ложноположительных (нормальная ткань легкого, фиброзные изменения, рак легкого) и ложноотрицательных (не отмечено целиком «матовое стекло») отметок на изображении; представление результатов работы ИИ-сервиса ограничено выборочными срезами, что вызывает неудобство при практическом использовании данных врачом-рентгенологом; DICOM SR (структурированный отчет) содержит много лишней информации, замедляющей работу врача-рентгенолога с результатами ИИ-сервиса.

Обсуждение

Увеличение потока исследований в условиях пандемии инфекционного заболевания требует быстрого принятия решений для сортировки пациентов на тех, кому тре-

буется медицинская помощь прямо сейчас, и тех, кому понадобится плановый уход. В связи с этим актуальна задача автоматической медицинской сортировки (триажа) КТ-исследований. С помощью такой сортировки можно существенно сократить время от момента завершения процедуры до получения врачебного заключения путем повышения приоритета в рабочем списке КТ-исследований с подозреваемой патологией для более быстрой интерпретации рентгенологом. Примером может служить полученная с помощью специального программного обеспечения количественная оценка поражения легочной паренхимы: была установлена высокая корреляция между оставшейся хорошо вентилируемой легочной тканью и исходами (перевод в палату интенсивной терапии или смерть) [Colombi et al., 2020]. Помимо этого, поражение легких при пневмонии COVID-19 можно оценить количественно автоматически, используя алгоритмы машинного обучения [Li et al., 2020].

Однако медицинскую сортировку (триаж) исследований с целью облегчения взаимодействия профессионально-коммуникативной модели «врач—врач» и «врач—пациент» следует проводить в рамках принятых территориально или профессионально систем классификаций «находок» (обнаруженных патологий). Изучаемый алгоритм ИИ оценивает вероятность наличия изменений, характерных для коронавирусной инфекции, при КТ органов грудной клетки, но не классифицирует их в привычном для врача-рентгенолога виде (по степеням от КТ-1 до КТ-4) [Gozes et al., 2020].

С управленческо-организационной точки зрения актуальным представляется разделение медицинской сортировки исследований на две подзадачи: отделение пациентов с COVID-19 от всех остальных (включая норму); сортировка пациентов с COVID-19 по степени тяжести. В зависимости от потока пациентов в конкретном медицинском учреждении значимость задач меняется. Для амбулаторно-поликлинического звена больший приоритет имеет обнаружение пациентов с высоким риском наличия новой коронавирусной инфекции для их дальнейшей изоляции. Для стационарного звена, в частности для реперофилированных учреждений, важна оценка степени тяжести вирусной пневмонии, в том числе динамики контрольных исследований.

Заключение

В условиях непрерывного и зачастую всевозрастающего потока исследований в амбулаторно-поликлиническом звене здравоохранения протестированный алгоритм ИИ отличается высокой прогностической ценностью отрицательного результата (97%). Это означает крайне высокую гарантию отсутствия признаков вирусной пневмонии в случаях, которые были отнесены алгоритмом ИИ к группам 2 и 3. Этот результат представляется наиболее значимым, доказывающим возможность применения технологий ИИ для сортировки пациентов по данным КТ-исследований в условиях первичного звена. Однако оцениваемый алгоритм ИИ имеет относительно низкое значение прогностической ценности положительного результата (66%). Это означает, что в условиях пандемии COVID-19 и высокой пред-тестовой вероятности наличия признаков вирусной пневмонии практическая ценность алгоритма ИИ, указывающего на наличие у пациента вирусной пневмонии COVID-19, представляется низкой.

В целом алгоритм ИИ обеспечивает медицинскую сортировку КТ-исследований в условиях первичного (амбулаторно-поликлинического) звена здравоохранения с выделением исследований без патологии, что имеет низкую ценность при высокой априорной вероятности наличия изменений, характерных для вирусной пневмонии. По мнению экспертов, применение алгоритмов машинного обучения способно повысить доступность и качество медицинской помощи [Thrall et al., 2017], однако широкое внедрение ИИ в медицину должно производиться в соответствии с этическими и правовыми нормами [Pesarane et al., 2018]. Следует также отметить тревожную тенденцию в виде возникновения огромного количества алгоритмов, не прошедших валидацию на внешних данных. Так, в анализе 516 публикаций из баз данных PubMed MEDLINE и Embase за 2018 год только в 6% исследований (31 публикация) проводилась валидация на внешних данных [Kim et al., 2019]. При этом ни одно из проанализированных исследований не имело проспективный дизайн или многоцентровой характер. Таким образом, проведенное исследование показало эффективность использования ИИ в условиях медицинских организаций, оказывающих помощь в амбулаторных условиях. Валидация алгоритма искусственного интеллекта по данным компьютерной томографии проведена без предварительной калибровки. Это свидетельствует о надежном «отсеивании» алгоритмом результатов исследований без признаков заболевания.

Выводы

Использование ИИ в диагностике заболеваний в условиях медицинских организаций, оказывающих амбулаторную помощь в период пандемии COVID-19, представляется, по мнению авторов, эффективным как с лечебно-диагностической, так и с организационно-управленческой точек зрения. Применение ИИ в здравоохранении позволяет повысить эффективность диагностики заболеваний. Применение алгоритмов ИИ в условиях пандемии COVID-19 обоснованно в части проведения медицинской сортировки результатов КТ органов грудной клетки. Использование ИИ в работе амбулаторно-поликлинического звена здравоохранения позволяет повысить количественные показатели доступности оказания медицинской помощи населению через увеличение пропускной способности (нагрузки) диагностических подразделений при сохранении надлежащего качества оценки результатов КТ-исследований на этапе медицинской сортировки.

Список литературы (References)

Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов. Препринт № ЦДТ. 2020. II. Версия 2 от 17.04.2020/ сост. Морозов С. П., Проценко Д. Н., Сметанина С. В. и др. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 65). URL: https://tele-med.ai/documents/346/luchevaya_diagnostika_koronavirusnoj_infekcii_covid-19_v2_2.pdf (дата обращения: 03.02.2021).
Radiation Diagnosis of Coronavirus Disease (COVID-19): Organization, Methodology, Interpretation of the Results. (2020) Preprint No. CDT-2020-II. Version 2 dated 04/17/2020. Comp. Morozov S. P., Protsenko D. N., Smetanina S. V. et al. Series "Best

Practices of Radiation and Instrumental Diagnostics". Vol. 65. M.: GBUZ "NPKTs DiT DZM". URL: https://tele-med.ai/documents/346/luchevaya_diagnostika_koronavirusnoj_infekcii_covid-19_v2_2.pdf (accessed: 03.02.2021). (In Russ.)

Belfiore M. P., Urraro F., Grassi R., Giacobbe G., Patelli G., Cappabianca S., Reginelli A. (2020) Artificial Intelligence to Codify Lung CT in COVID-19 Patients. *La Radiologia Medica*. Vol. 125. No. 5. P. 500—504. <https://doi.org/10.1007/s11547-020-01195-x>.

Colombi D., Bodini F. C., Petrini M., Maffi G., Morelli N., Milanese G., Silva M., Sverzellati N., Michieletti E. (2020) Well-Aerated Lung on Admitting Chest CT to Predict Adverse Outcome in COVID-19 Pneumonia. *Radiology*. Vol. 296. No. 2. P. E 86—E 96. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020201433>.

Dong D., Tang Zh. Wang Sh., Hui H., Gong L., Lu Y., Xue Zh., Liao H., Chen F., Yang F., Jin R., Wang K., Liu Zh., Wei J., Mu W., Zhang H., Jiang J., Tian J., Li H. (2020a) The Role of Imaging in the Detection and Management of COVID-19: A Review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*. Vol. 14. P. 16—29. <https://doi.org/10.1109/RBME.2020.2990959>.

Dong E., Du H., Gardner L. (2020b) An Interactive Web-Based Dashboard to Track COVID-19 in Real Time. *The Lancet Infectious Diseases*. Vol. 20. No. 5. P. 533—534. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(20)30120-1).

Fang Y., Zhang H., Xie J., Lin M., Ying L., Pang P., Ji W. (2020) Sensitivity of Chest CT for COVID-19: Comparison to RT-PCR. *Radiology*. Vol. 296. No. 2. P. E 115—E 117. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200432>.

Gozes O., Frid-Adar M., Greenspan H., Browning P. D., Zhang H., Ji W., Bernheim A., Siegel E. (2020) Rapid AI Development Cycle for the Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Initial Results for Automated Detection & Patient Monitoring using Deep Learning CT Image Analysis. *arXiv:2003.05037 [eess IV]*. URL: <https://arxiv.org/abs/2003.05037> (accessed: 3.02.2021).

Kim D. W., Jang H. Y., Kim K. W., Shin Y., Park S. H. (2019) Design Characteristics of Studies Reporting the Performance of Artificial Intelligence Algorithms for Diagnostic Analysis of Medical Images: Results from Recently Published Papers. *Korean Journal of Radiology*. Vol. 20. No. 3. P. 405—410. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0025>.

Lee E. Y. P., Ng M.-Y., Khong, P.-L. (2020) COVID-19 Pneumonia: What Has CT Taught Us? *The Lancet Infectious Diseases*. Vol. 20. No. 4. P. 384—385. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30134-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30134-1).

Li K., Fang Y., Li W., Pan C., Qin P., Zhong Y., Liu X., Huang M., Liao Y., Li Sh. (2020) CT Image Visual Quantitative Evaluation and Clinical Classification of Coronavirus Disease (COVID-19). *European Radiology*. Vol. 30. No. 8. P. 4407—4416. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06817-6>.

Murphy K., Smits H., Knoop A. J. G., Korst M. B. J. M., Samson T., Scholten E. T., Schalekamp S., Schaefer-Prokop C. M., Philipsen R. H. H. M., Meijers A., Melendez J., van Ginneken B., Rutten M. (2020) COVID-19 on Chest Radiographs: A Multireader

Evaluation of an Artificial Intelligence System. *Radiology*. Vol. 296. No. 3. P. E166—E172. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020201874>.

Pesapane F., Volonté C., Codari M., Sardanelli F. (2018) Artificial Intelligence as a Medical Device in Radiology: Ethical and Regulatory Issues in Europe and the United States. *Insights Into Imaging*. Vol. 9. P. 745—753. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0645-y>.

Sverzellati N., Milanese G., Milone F., Balbi M., Ledda R. E., Silva M. (2020) Integrated Radiologic Algorithm for COVID-19 Pandemic. *Journal of Thoracic Imaging*. Vol. 35. No. 4. P. 28—233. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000516>.

Thrall J. H., Li X., Li Q., Cruz C., Do S., Dreyer K., Brink J. (2018) Artificial Intelligence and Machine Learning in Radiology: Opportunities, Challenges, Pitfalls, and Criteria for Success. *Journal of the American College of Radiology*. Vol. 15. No. 3. P. 504—508. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.12.026>.