



Новая модель организации массовых профилактических исследований, основанная на автономном искусственном интеллекте для сортировки результатов флюорографии

Ю.А. Васильев¹, И.А. Тыров², А.В. Владзимирский¹, К.М. Арзамасов¹, Л.Д. Пестренин¹, И.М. Шулькин¹

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

² Департамент здравоохранения города Москвы, Оружейный пер., д. 43, г. Москва, 127006, Российская Федерация

Резюме

Введение. В настоящее время отмечается бурное развитие программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта, в том числе для анализа цифровых флюорограмм. Это программное обеспечение, предварительно зарегистрированное как медицинское изделие, может быть использовано для автономного анализа и сортировки исследований, что позволит врачам-рентгенологам сфокусировать внимание на исследованиях с патологией.

Цель исследования: обосновать возможность и эффективность применения программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта для автономного анализа и сортировки результатов цифровой флюорографии.

Материалы и методы. С помощью программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта, зарегистрированного в РФ как медицинское изделие, было обработано 88 048 цифровых флюорограмм, выполненных в первом квартале 2023 г. Проведен ROC-анализ полученных данных.

Результаты. При текущих настройках программного обеспечения: чувствительность 90,4 % (95 % ДИ: 88,2–92,7), специфичность 75,5 % (95 % ДИ: 75,2–75,8), точность 75,6 % (95 % ДИ: 75,3–75,9). При настройке программного обеспечения на максимальную чувствительность: чувствительность 100,0 % (95 % ДИ: 100–100), специфичность 77,4 % (95 % ДИ: 74,8–80,0), точность 77,9 % (95 % ДИ: 75,3–80,5). Предложена модель организации медицинской помощи, предусматривающая автономную сортировку результатов профилактической флюорографии: изображения анализируются программным обеспечением, результаты с «Нормой» сохраняются в медицинской документации без описания врачом-рентгенологом, результаты с «Не нормой» направляются на описание врачом-рентгенологом (в перспективе, по мере совершенствования технологий искусственного интеллекта, сразу направляются врачу клинической специальности).

Заключение. Оптимальным сценарием видится использование программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта для выявления исследований категории «Норма», пересмотр которых врачом-рентгенологом при настройке алгоритма на максимальную чувствительность необязателен. Обязательному пересмотру будут подвергаться только те исследования, которые будут классифицированы программным обеспечением как «Не норма». Экономическая выгода от практической реализации данного подхода в масштабах страны может составлять до 5,6 млрд рублей ежегодно.

Ключевые слова: профилактические исследования, флюорография, искусственный интеллект, диагностическая точность, экономический эффект.

Для цитирования: Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владзимирский А.В., Арзамасов К.М., Пестренин Л.Д., Шулькин И.М. Новая модель организации массовых профилактических исследований, основанная на автономном искусственном интеллекте для сортировки результатов флюорографии // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 11. С. 23–32. doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-11-23-32

A New Model of Organizing Mass Screening Based on Stand-Alone Artificial Intelligence Used for Fluorography Image Triage

Yuriy A. Vasilev,¹ Ilya A. Tyrov,² Anton V. Vladzimirsky,¹ Kirill M. Arzamasov,¹ Lev D. Pestrenin,¹ Igor M. Shulkin¹

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

² Moscow Department of Health, 43 Oruzheynyy Lane, Moscow, 127006, Russian Federation

Summary

Introduction: A rapid development of artificial intelligence software, including that for the analysis of digital fluorography images, has been noted recently. Pre-registered as a medical device, this software can be used for stand-alone analysis and triage of test results, allowing radiologists to focus on pathological findings.

Objective: To substantiate the possibility and efficiency of using artificial intelligence software for stand-alone analysis and triage of digital fluorography images.

Materials and methods: 88,048 digital fluorograms obtained in the first quarter of 2023 were processed using the artificial intelligence software registered in the Russian Federation as a medical device and a ROC analysis of the findings was carried out.

Results: We established that default software settings with the sensitivity of 90.4 % (95 % CI: 88.2–92.7) produced specificity of 75.5 % (95 % CI: 75.2–75.8) and accuracy of 75.6 % (95 % CI: 75.3–75.9). At the maximum sensitivity of 100.0 % (95 % CI: 100–100), specificity was 77.4 % (95 % CI: 74.8–80.0) and accuracy was as high as 77.9 % (95 % CI: 75.3–80.5). We have proposed a model of organizing health care which provides for stand-alone sorting of fluorography images by the software, saving normal results without their verification by a radiologist, and sending images with abnormal findings to a radiologist for diagnosis (in the future, as artificial intelligence improves, the latter will be immediately sent to a physician of the clinical specialty).

Conclusions: The established optimal scenario includes the use of artificial intelligence software to identify normal findings, which examination by a radiologist is optional when the algorithm is set to maximum sensitivity. Only the findings classified as abnormal will be subject to mandatory revision. The annual economic benefit gained by practical implementation of this approach nationwide can reach 5.6 billion rubles.

Keywords: screening, fluorography, artificial intelligence, diagnostic accuracy, cost-benefit analysis.

For citation: Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladzimirsky AV, Arzamasov KM, Pestrenin LD, Shulkin IM. A new model of organizing mass screening based on stand-alone artificial intelligence used for fluorography image triage. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(11):23–32. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-11-23-32

Введение. В настоящее время идет активная цифровая трансформация здравоохранения Российской Федерации. Лидером соответствующих процессов является лучевая диагностика. Отмечается централизация описания рентгенологических исследований с применением телемедицинских технологий [1]. Так, ежедневно в Москве проводится более 45 000 исследований, которые описываются врачами-рентгенологами дистанционно при помощи Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС). Основной объем исследований приходится на массовые профилактические исследования – флюорографию (ФЛГ) органов грудной клетки и маммографию. Согласно отчету главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике, в 2020 году в стране было выполнено 74 856 124 флюорографий, 80 % из которых были в цифровом формате¹. Характерная особенность профилактических исследований – это низкий удельный вес исследований с патологией. По литературным данным в России при проведении флюорографии выявляемость различных патологий органов грудной клетки колеблется от 0,07 до 18,4 % [2–6]. При этом наиболее высокие показатели характерны для совокупного выявления различных заболеваний (туберкулез, онкология, иные состояния) – 10,1–18,4 %; меньшие значения характерны именно для обнаружения признаков туберкулеза – 0,07–0,76 %.

Априори большинство результатов профилактических исследований относятся к категории «Норма» (при неселективном скрининге). При интерпретации врачом соответствующего потока исследований повышается риск пропуска патологии. Поэтому общепринятой считается система двойного чтения, когда одно исследование просматривается двумя специалистами. Такой подход нормативно установлен для профилактической маммографии, а его научную основу составляют убедительные систематические обзоры и метаанализы [7, 8]. Для ФЛГ, согласно актуальным нормативно-правовым актам, предполагается только одно чтение. Двойные просмотры носят лишь рекомендательный характер. Вместе с тем ежегодно в России выполняются десятки миллионов профилактических флюорографических исследований, интерпретация которых требует колоссальных кадровых и материальных ресурсов.

Согласно последним исследованиям, достижения в области технологий искусственного интеллекта (ТИИ) позволили врачам-рентгенологам эффективно использовать их для оптимизации рабочих процессов и повышения точности диагностики, что в конечном счете приводит к доказанным снижениям экономических затрат [9, 10]. Показатели точности алгоритмов, предоставляемые разработчиками,

достаточно высоки [11–13], достигают показателей врачей рентгенологов [14], а по отдельным решениям даже превышают их [15].

По состоянию на декабрь 2022 года, в мире 29 программных продуктов на основе ТИИ имеют европейскую сертификацию как медицинское изделие (CE MDR/MDD)². Важно отметить, что один такой программный продукт (ChestLink®), допущенный к обращению как медицинское изделие, предназначен для полностью автономного анализа РГ ОГК³. В Российской Федерации, по состоянию на декабрь 2022 года, статус медицинского изделия получен 22 программными продуктами на основе технологий ИИ, в том числе двумя – для автоматизированного анализа результатов ФЛГ и РГ (компании ООО «Медицинские скрининг системы» (РЗН 2021/14449) и ООО «ФтизисБиоМед» (РЗН 2022/17406)).

Цель исследования – обосновать возможность и эффективность применения программного обеспечения (ПО) на основе технологии искусственного интеллекта для автономного анализа и сортировки результатов цифровой флюорографии.

Материалы и методы Исследование выполнено в рамках «Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы», проводимого с 2020 г. при поддержке Правительства Москвы (mosmed.ai)⁴.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом (выписка из протокола № 2 НЭК МРО POPP от 20 февраля 2020 года), а также зарегистрировано на ClinicalTrials (NCT04489992).

Дизайн исследования: смешанный (количественный компонент – ретроспективное диагностическое исследование, качественный компонент – аналитическое исследование).

Технологии искусственного интеллекта. В исследовании использовали результаты работы лучшего программного обеспечения по матрице зрелости без упоминания его названия с целью акцентирования внимания на аспектах цифровой трансформации процессов лучевой диагностики, а не на особенностях того или иного коммерческого продукта.

ПО было интегрировано в ЕРИС ЕМИАС в рамках научного эксперимента, указанного выше. ПО на основе ТИИ принимало на вход цифровую ФЛГ в формате DICOM, анализировало ее и возвращало в качестве ответа текстовое описание (DICOM SR), изображение с разметкой патологических областей (DICOM SC), вероятность наличия патологии в исследовании в целом. Перечисленные результаты работы программного обеспечения вместе с исходными результатами исследования становились доступны в ЕРИС ЕМИАС. На рис. 1 приведен пример обнаружения целевой патологии ПО на основе ТИИ.

¹ Тюрин И.Е. Отчет за 2020 г. главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике Тюрин И.Е. 2020.

² AI for radiology [Электронный ресурс]. URL: https://grand-challenge.org/aiforradiology/?subspeciality=Chest&modality=X-ray&ce_under=AI&ce_class=AI&fda_class=AI&sort_by=last modified&search= (дата обращения: 24.12.2022).

³ CE Mark for First Autonomous AI Medical Imaging Application [Электронный ресурс]. URL: <https://oxipit.ai/news/first-autonomous-ai-medical-imaging-application/> (дата обращения: 24.12.2022).

⁴ Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., ред. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента: Монография. М.: Издательские решения, 2022. 388 с.

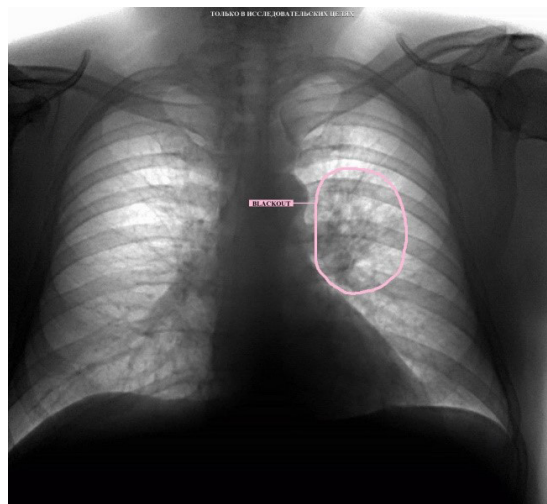


Рис. 1. Пример работы программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта. Цветной контур – результат работы представленного программного обеспечения, выделена область с рентгенологическими признаками левосторонней верхнедолевой пневмонии

Fig. 1. The example of fluorography image processing by AI software: the AI-generated colored contour on the right outlines the area with radiological signs of left upper lobe pneumonia

Анализируемые данные. Проанализировано 88 048 цифровых флюорограмм, выполненных в медицинских организациях города Москвы, оказывающих первичную медико-санитарную помощь взрослому населению, за период с 01.01.2023 по 31.03.2023.

Разделение исследований на категории «Норма» и «Не норма» осуществлялось на основании заключений врачей-рентгенологов, описывавших эти исследования. При этом в качестве целевой патологии в исследованиях рассматривались следующие патологические признаки: «Плевральный выпот», «Пневмоторакс», «Ателектаз», «Очаг затемнения», «Инфильтрация/консолидация», «Диссеминация», «Полость с распадом и уровнем жидкости», «Кальцинат», «Нарушение целостности кортикального слоя». Удельный вес различных типов патологических находок в группе «Не норма» сопоставим с распространенностью в популяции (по результатам анализа работы отделений лучевой диагностики медицинских организаций государственной системы здравоохранения г. Москвы).

Методика формирования стоимости новых медицинских услуг. В рамках настоящей работы предполагается определение оптимальных долей компонентов структуры стоимости услуги. Так, стоимость медицинской услуги, включающей выполнение, интерпретацию и описание врачом-рентгенологом лучевого исследования (профилактической флюорографии), берется за 100,0 %. В структуру стоимости услуги стандартно входят: фонд оплаты труда (ФОТ) медицинского персонала, расходные материалы и иные расходы, связанные с содержанием зданий и сооружений и т. д.

Статистическая обработка данных. Обработка результатов осуществлялась методом построения и

анализа характеристической кривой (ROC-анализа) на специально разработанном web-инструменте <https://roc-analysis.mosmed.ai/>^{5,6}. В качестве истинных значений использовалась бинарная разметка исследования (0 – при отсутствии патологии, 1 – при наличии целевой патологии). В качестве результата принималась вероятность наличия патологии, определяемая ПО на основе ТИИ. Полученные данные в табличном виде загружались в электронную форму, и осуществлялось построение характеристической кривой. В интерактивном режиме (т. е. с возможностью просмотра показателей диагностической точности для каждой точки на ROC кривой в режиме по наведению курсора мыши) определялись пороговые значения, соответствующие самой крайней левой точке с чувствительностью 100 %. Далее анализировались остальные показатели диагностической точности для установленного порогового значения. Анализ осуществлялся в терминах классической четырехпольной таблицы. Истинно положительным (ИП) считалось корректное отнесение исследования к группе «Не норма», истинно отрицательным (ИО) считалось корректное отнесение исследования к группе «Норма». Ложноположительным (ЛП) результатом считалось ошибочное отнесение исследования «Норма» к группе «Не норма», соответственно ложноотрицательным (ЛО) являлся результат классификации исследования из группы «Не норма» как «Норма». Все показатели, представленные в результатах, рассчитаны с 95 % доверительным интервалом методом случайных выборок с возвратом (т. н. бутстреппинга от англ. «bootstrapping») с количеством итераций 1000.

Результаты. Результаты работы ПО на основе ТИИ в зависимости от его настроек и характера

⁵ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617324 Российская Федерация. Веб-инструмент для выполнения ROC анализа результатов диагностических тестов : № 2022616046 : заявл. 05.04.2022 : опубл. 19.04.2022 / С.П. Морозов, А.Е. Андрейченко, С.Ф. Четвериков и др.; заявитель Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

⁶ Morozov SP, Vladzimirsky AV, Klyashtorny VG, et al. *Clinical Acceptance of Software Based on Artificial Intelligence (Radiology)*. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Department of Health; 2019.

выборки ФЛГ. Всего ПО на основе ТИИ было обработано 88 048 ФЛГ. Из них 87 378 исследований (99,2 %) врач классифицировал как «Норма», 670 (0,8 %) – как «Не норма». В то же время программное обеспечение классифицировало 66 043 исследований (75,0 %) как «Норма», 22 005 (25,0 %) – как «Не норма».

Из 66 043 исследований, которые были отнесены ПО в группу «Норма», 65 979 исследований (99,9 %) также были отнесены в группу «Норма» врачом-рентгенологом.

На следующем этапе исследования были построены две характеристические кривые:

1) для результатов работы ПО на всей выборке при текущих настройках;

2) для результатов работы ПО на одной тысяче исследований, которые были описаны врачами «высокого доверия»⁷, при настройке на максимальную чувствительность (см. рис. 2).

При выставлении порогового значения 34,0, соответствующего максимальному Индексу Юдена

при текущих настройках ПО на основе ТИИ, получаем корректное определение 65 979 исследований (75,0 %) из группы «Норма», которые не потребуют врачебного пересмотра. Однако при этом 64 исследования (9,5 %) из группы «Не норма» будет ошибочно интерпретировано программным обеспечением как «Норма». При таких настройках ПО на основе ТИИ получаем следующие значения показателей диагностической точности: чувствительность 90,4 % (95 % ДИ: 88,2–92,7), специфичность 75,5 % (95 % ДИ: 75,2–75,8), точность 75,6 % (95 % ДИ: 75,3–75,9).

Отдельно была проанализирована работа ПО на одной тысяче исследований, которые были описаны врачами «высокого доверия». Эти исследования были получены из общей выборки ФЛГ за первый квартал 2023 года. При выставлении порогового значения 49,0, соответствующего максимальной чувствительности ПО на основе ТИИ, получаем корректное определение 758 исследований (77,4 %) из группы «Норма», которые не потребуют врачебного пересмотра. При этом ни одно исследование из

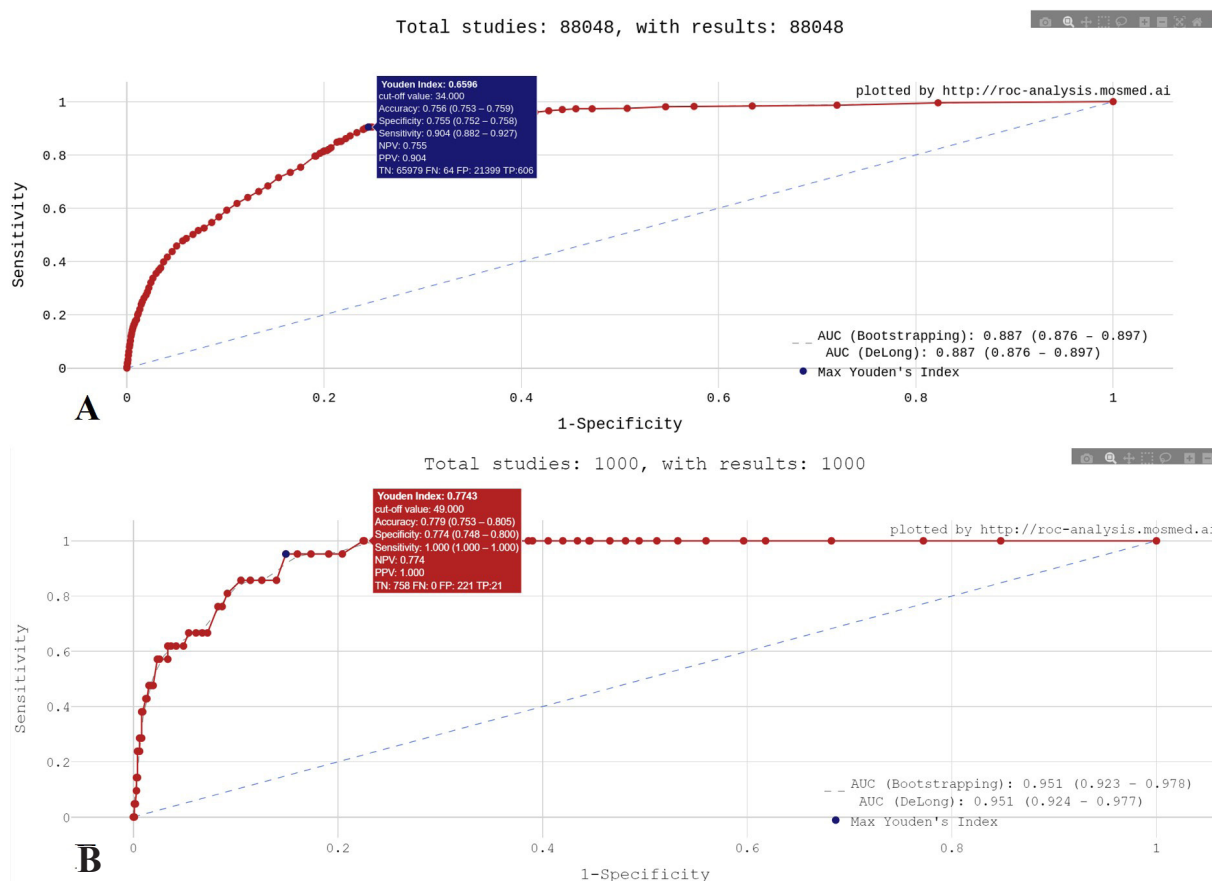


Рис. 1. Характеристические кривые ПО на основе ТИИ: А – результат работы на всей выборке при текущих настройках; В – результат работы на одной тысяче исследований, которые были описаны врачами «высокого доверия», при настройке на максимальную чувствительность. Отдельно выделены экспериментальные значения, соответствующие максимальному значению Индекса Юдена (А) и максимальной чувствительности (В).

Для каждой из этих экспериментальных точек в прямоугольнике указаны значения показателей диагностической точности при соответствующем пороговом значении

Fig. 1. Curves plotted by the AI-based software: A – for the entire sample at the current settings; B – for 1,000 images that were read by doctors of “high confidence”, when set to maximum sensitivity. The experimental values corresponding to the maximum value of the Youden Index (A) and the maximum sensitivity (B) are highlighted.

For each of these experimental points, the rectangle shows the values of diagnostic accuracy indicators at the corresponding threshold value

⁷ Врачи «высокого доверия» – специалисты, которые прошли аудит контроля качества и имеют оценку качества работы >95 %.

группы «Не норма» не будет ошибочно интерпретировано программным обеспечением как «Норма». При таких настройках ПО на основе ТИИ получаем следующие значения показателей диагностической точности: чувствительность 100,0 % (95 % ДИ: 100–100), специфичность 77,4 % (95 % ДИ: 74,8–80,0), точность 77,9 % (95 % ДИ: 75,3–80,5).

Распределение исследований по группам (ИП, ИО, ЛО, ЛП) в зависимости от выбранного порогового значения для ПО на основе ТИИ представлено в табл. 1.

Формирование стоимости новых медицинских услуг. Эмпирическим путем нами установлено, что автоматизация интерпретации и описания результатов лучевого исследования позволяет снизить стоимость услуги до 50,0 %. При этом меняется ее структура: ФОТ медицинского персонала – 60,0 %; ФОТ немедицинского персонала – 15,0 %; расходные материалы – 15,0 %; иные расходы – 10,0 %. Для обеспечения работы специалистов по проведению пострегистрационного мониторинга, а также технических специалистов с целью поддержания функционирования и обновления версии ПО на основе ТИИ предусмотрена статья расходов «ФОТ немедицинского персонала» [16]. Затраты на приобретение лицензии на ПО на основе ТИИ предлагается заложить в статью расходов на расходные материалы.

Экономический эффект от перехода на автономное ПО на основе ТИИ для сортировки результатов профилактической флюорографии. В 2022 году в амбулаторно-поликлинических центрах города Москвы было выполнено 1,07 млн флюорографических исследований. С учетом размера тарифа на описание одной ФЛГ врачом-рентгенологом в 190,46 руб.⁸ общие затраты на описание всех исследований врачами-рентгенологами в 2022 году составили 204,2 млн руб.

Использование в автономном режиме ПО на основе ТИИ с целевыми настройками для сортиров-

ки и описания 77,4 % исследований из категории «Норма» может обеспечить экономию средств городского бюджета в размере 115,2 млн руб. в год (см. табл. 2). В относительных значениях экономия средств годового бюджета при проведении ФЛГ в соответствии с предлагаемой методикой составит 56,4 %.

Также была рассчитана точка безубыточности для использования ПО на основе ТИИ в автономном режиме в амбулаторно-поликлинических центрах города Москвы. При правильной интерпретации ПО как минимум 21,02 % цифровых ФЛГ с «Нормой» расходы бюджета останутся на текущем уровне (см. табл. 2).

В среднем в РФ ежегодно выполняется 74 млн профилактических флюорографических исследований⁹. С учетом усредненного размера тарифа на описание одной ФЛГ врачом-рентгенологом в 150 рублей общие затраты на описание всех исследований врачами-рентгенологами составляют порядка 11,1 млрд руб. в год.

Использование в автономном режиме ПО на основе ТИИ с целевыми настройками для сортировки и описания 77,4 % исследований из категории «Норма» может обеспечить экономию средств бюджета Российской Федерации в размере 5,6 млрд рублей в год (см. табл. 3). В относительных значениях экономия средств годового бюджета при проведении ФЛГ в соответствии с предлагаемой методикой составит 50,8 %.

Также была рассчитана точка безубыточности для использования ПО на основе ТИИ в автономном режиме в масштабах всей страны. При правильной интерпретации ПО как минимум 27,0 % цифровых ФЛГ с «Нормой» расходы бюджета останутся на текущем уровне (см. табл. 3).

Обсуждение

Целевая модель обработки результатов профилактической флюорографии. Нами предлагается целевая модель обработки результатов

Таблица 1. Четырехпольная таблица результатов работы ПО на основе ТИИ в зависимости от его настроек и характера выборки ФЛГ

Table 1. A four-field table of AI-based software results depending on the settings and the fluorogram sample

Группа / Group	Результат / Result	Результаты работы на всей выборке при текущих настройках / Results for the entire sample with the default settings	Результаты работы на 1000 исследований* при настройке на максимальную чувствительность / Results for 1,000 fluorograms* read at maximum sensitivity
«Не норма» / Abnormal	Истинно положительный / True positive	606	21
	Ложноотрицательный / False negative	64 9,5 %**	0 0 %**
«Норма» / Normal	Истинно отрицательный / True negative	65979	758 77,4 %***
	Ложноположительный / False positive	21399	221

Примечание: * – выборка исследований, описанных врачами «высокого доверия»; ** – процент ложноотрицательных результатов рассчитан относительно объема группы «Не норма»; *** – процент истинно отрицательных результатов рассчитан относительно объема группы «Норма».

Notes: * the sample of fluorograms read by doctors of "high confidence"; ** the proportion of false negative results is calculated against the number of abnormal findings; *** the proportion of true negative results is calculated against the number of normal findings.

⁸ Приложение № 6 к Тарифному соглашению на оплату медицинской помощи, оказываемой по территориальной программе обязательного медицинского страхования города Москвы на 2023 год от 30 декабря 2022 года.

⁹ Тюрин И.Е. Отчет за 2020 г. главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике Тюрин И.Е. 2020

**Таблица 2. Финансовый эффект от использования ПО на основе ТИИ в Москве
в расчете на годовой поток исследований****Table 2. The amount of financial benefit gained by using AI software in Moscow given the annual number
of fluorography tests**

Сценарий / Scenario	Объект расчетов / Calculation object	Количество исследований / Number of tests	Тариф, руб. / Tariff, rubles	Затраты за 2022 год, млн руб. / Costs in 2022, million rubles
1. 100 % исследований описывает врач / 100 % of images are read by a radiologist	ИТОГО / TOTAL	1 072 087	190,46*	204,2
2. Врач + автономно ПО 77,4 % исследований описывает ПО, 22,6 % – врач / Radiologist + stand-alone software 77.4 % of images are processed by the software and 22.6 % are read by a radiologist	ПО / Software	1 072 087	40**	42,9
	Врач / Radiologist	242 292	190,46	46,1
	ИТОГО / TOTAL	1 072 087	–	89
Финансовый эффект сценария № 2 / Financial benefit of Scenario 2				–115,2
3. Врач + автономно ПО 21,02 % исследований описывает ПО, 78,98 % – врач / Radiologist + stand-alone software 21.02 % of images are processed by the software and 78.98 % are read by a radiologist	ПО / Software	1 072 087	40*	42,9
	Врач / Radiologist	846 734	190,46	161,3
	ИТОГО / TOTAL	1 072 087	–	204,2
Финансовый эффект сценария № 3 / Financial benefit of Scenario 3				0,0

Примечание: * – стоимость описания одного флюорографического исследования врачом-рентгенологом в Москве в 2023 году¹⁰; ** – средняя стоимость обработки 1 исследования программным обеспечением по результатам опроса разработчиков.

Notes: * the cost of reading a fluorography image by a radiologist in Moscow in 2023¹⁰; ** the average cost of reading a fluorography image by the AI software according to its developers.

**Таблица 3. Финансовый эффект от использования ПО на основе ТИИ в России в расчете
на годовой поток исследований****Table 3. The amount of financial benefit gained by using AI software in Russia given the annual number
of fluorography tests**

Сценарий / Scenario	Объект расчетов / Calculation object	Количество исследований, млн / Number of studies, million	Тариф, руб. / Tariff, rubles	Затраты за 2022 год, млрд руб. / Costs in 2022, billion rubles
1. 100 % исследований описывает врач / 100 % of images are read by a radiologist	ИТОГО / TOTAL	74,0	150*	11,1
2. Врач + автономно ПО 77,4 % исследований описывает ПО, 22,6 % – врач / Radiologist + stand-alone software 77.4 % of images are processed by the software and 22.6 % are read by a radiologist	ПО / Software	74,0	40**	3,0
	Врач / Radiologist	16,7	150	2,5
	ИТОГО / TOTAL	74,0	–	5,5
Финансовый эффект сценария № 2 / Financial benefit of Scenario 2				–5,6
3. Врач + автономно ПО 27,0 % исследований описывает ПО, 73,0 % – врач / Radiologist + stand-alone software 27.0 % of images are processed by the software and 73.0 % are read by a radiologist	ПО / Software	74,0	40*	3,0
	Врач / Radiologist	54,0	150	8,1
	ИТОГО / TOTAL	74,0	–	11,1
Финансовый эффект сценария № 3 / Financial benefit of Scenario 3				0,0

Примечание: * – усредненный размер тарифа по России на услугу А06.09.006.001 Флюорография легких цифровая; ** – средняя стоимость обработки 1 исследования программным обеспечением по результатам опроса разработчиков.

Notes: * the average tariff in Russia for the medical service А06.09.006.001 Digital lung fluorography; ** average cost of one fluorographic examination processing by AI-based software, based on the developers survey results.

профилактической флюорографии: изображения анализируются ПО на основе ТИИ, результаты с «Нормой» сохраняются в медицинской документации без описания врачом-рентгенологом, результаты с «Не нормой» направляются на описание врачом-рентгенологом (а в перспективе, по мере совершенствования ТИИ, сразу направляются врачу клинической специальности).

Результаты работы ПО на основе ТИИ на одной тысяче исследований, которые были интерпретированы врачами «высокого доверия», при настройке на максимальную чувствительность демонстрируют возможность автономного описания 77,4 % всех ФЛГ, которые относятся к группе «Норма». При этом пропуск патологии со стороны ПО будет отсутствовать, что позволит сохранить доверие

¹⁰ Приложение № 6 к Тарифному соглашению на оплату медицинской помощи, оказываемой по территориальной программе обязательного медицинского страхования города Москвы на 2023 год от 30 декабря 2022 года.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-23-32>
Original Research Article

к работе искусственного интеллекта со стороны как врачебного сообщества, так и пациентов.

В среднем в РФ ежегодно выполняется 74 млн профилактических флюорографий¹¹. Внедрение в клиническую практику предложенной методологии настройки ПО на основе ТИИ на максимальную чувствительность позволит не пересматривать 77,4 % исследований (57,3 млн исследований), которые будут верно интерпретированы ПО на основе ТИИ как «Норма».

В глобальной перспективе уже существует прецедент автономного описания результатов рентгенографии с «Нормой». Медицинское изделие ChestLink® анализирует изображения, при отсутствии патологических изменений сразу формирует автоматический протокол без участия человека, при выявлении признаков болезни рентгенография маршрутизируется на интерпретацию и описание врачом-рентгенологом [15].

Наши результаты указывают на возможность автономного применения ПО на основе ТИИ. Очевидно, что для практической реализации потребуется оптимизировать программные продукты для более эффективного выявления «Нормы», а также перенастроить пороги срабатывания для конкретной клинической задачи. Это позволит адаптировать рассмотренное в настоящей работе ПО на основе ТИИ, а также любые другие решения.

С точки зрения организации здравоохранения, в целях обеспечения массовых профилактических осмотров предлагается ввести две услуги:

1) флюорография легких цифровая – включает проведение, автоматизированную интерпретацию и описание результатов посредством программного обеспечения с применением технологий искусственного интеллекта, допущенного в установленном законодательством порядке к обращению в качестве медицинского изделия;

2) описание и интерпретация данных цифровой флюорографии легких – включает интерпретацию и описание результатов врачом-рентгенологом.

Предлагается производственный процесс, включающий ряд основных этапов.

1. Назначение исследования, запись, проведение.

2. Автоматизированная интерпретация и описание результатов посредством программного обеспечения с применением технологий искусственного интеллекта (медицинское изделие) – оказана услуга № 1.

3. При отсутствии изменений на диагностических изображениях («Норма») автоматически сформированное описание сохраняется в медицинской информационной системе медицинской организации как электронная медицинская запись¹² – это результат оказания услуги № 1.

4. При наличии любых изменений на диагностических изображениях («Не норма») результаты флюорографии направляются на интерпретацию и

описание врачом-рентгенологом – оказана услуга № 2. Ее результатом является протокол¹³ – это результат оказания услуги № 2.

Методология формирования стоимости медицинской услуги № 1 была описана в разделе «Результаты», для медицинской услуги № 2 предлагается сохранить полную стоимость (100,0 %) за счет эффекта масштаба. В данном случае считаем допустимым сохранение наличия в структуре стоимости оплаты выполнения исследования.

Количество ФЛГ, включенных в настоящую работу, по нашему мнению, можно считать достаточным, а выборку ФЛГ – репрезентативной, поскольку в исследование были включены все ФЛГ, выполненные в 1-м квартале 2023 года в амбулаторно-поликлинических учреждениях, оказывающих медицинскую помощь взрослому населению города Москвы, и проанализированные программным обеспечением на основе технологии искусственного интеллекта.

Нами было принято решение провести анализ работы ПО на основе ТИИ на одной тысяче исследований, которые интерпретировались врачами «высокого доверия», в связи с тем, что, по данным литературы, уровень чувствительности врачей-рентгенологов при анализе рентгеновских снимков ОГК зависит от опыта врача и вида патологии и находится в диапазоне от 53,6 до 95,5 % [17–20].

Ответственность. Вопрос ответственности при использовании ТИИ в здравоохранении остается дискуссионным. С учетом научного и методологического опыта Московского эксперимента нами сделано следующее практическое предложение: ответственность за диагностическую точность ПО на основе ТИИ лежит на разработчике и организациях, проводивших технические и клинические испытания в процессе получения регистрационного удостоверения медицинского изделия [21–23]^{14,15}. Конечный пользователь программного обеспечения (в том числе, медицинский работник) должен нести ответственность за правильность применения конкретного медицинского изделия в полном соответствии с инструкцией по эксплуатации. При внедрении в клиническую практику автономного ПО на основе ТИИ необходимо обеспечить входной контроль качества. В дальнейшем необходимо обеспечить обязательные проверочные мероприятия (аудиты), направленные на обеление доли исследований с технологическими и/или клиническими дефектами, что позволит давать оперативную обратную связь разработчику для совершенствования медицинского изделия [16]. Очевидно, что претворение в жизнь предложенных концепций потребует внесения изменений в целый ряд нормативно-правовых актов. Соответствующие предложения в настоящее время формируются специалистами ГБУЗ г. Москвы «НПКЦ ДиТ ДЗМ».

¹¹ Тюрин И.Е. Отчет за 2020 г. главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике Тюрин И.Е. 2020.

¹² Приказ Минздрава России от 7 сентября 2020 г. № 947н «Об утверждении Порядка организации системы документооборота в сфере охраны здоровья в части ведения медицинской документации в форме электронных документов».

¹³ Приказ Минздрава России от 9 июня 2020 г. № 560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований».

¹⁴ Caring-Research. Can AI Generate Clinically Appropriate X-Ray Reports? Judging the Accuracy and Clinical Validity of Deep Learning-generated Test Reports as Compared to Reports Generated by Radiologists: A Retrospective Comparative Study // RSNA. 2019.

¹⁵ ISO - ISO 13485 Изделия медицинские [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/ru/iso-13485-medical-devices.html> (дата обращения: 25.12.2022).

Обоснование перехода на автономное ПО на основе ТИИ для сортировки результатов профилактической флюорографии с организационной и экономической точки зрения. Переход к автономной сортировке результатов профилактической флюорографии обеспечит компромисс: во-первых, будет сохранен массовый скрининг туберкулеза и иных заболеваний ОГК на существующей аппаратной базе, более того, значимо повысится его доступность и качество, а возможно, и объемы; во-вторых, появятся новые возможности для развития отечественной индустрии медицинского приборостроения (за счет интеграции технологий ИИ непосредственно в аппаратуру для лучевой диагностики); в-третьих, значительные финансовые ресурсы будут сэкономлены и перенаправлены на более актуальные задачи, потенциал врачей-рентгенологов будет задействован на решение когнитивно сложных диагностических задач.

Заключение. Доказана возможность и перспективность применения программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта для автономного анализа результатов цифровой профилактической флюорографии. Оптимальным сценарием видится использование ПО на основе ТИИ для выявления исследований категории «Норма», пересмотр которых врачом-рентгенологом при настройке алгоритма на максимальную чувствительность необязателен. Напротив, исследования, классифицированные как «Не норма», будут направляться на описание врачу-рентгенологу.

Предложена модель организации медицинской помощи, предусматривающая автономную сортировку результатов профилактической флюорографии (новые медицинские услуги, подходы к обеспечению безопасности и качества медицинской помощи, урегулирование проблемы ответственности). Благодаря внедрению модели будет обеспечено сохранение или даже увеличение охвата населения профилактической флюорографией, повышены доступность и качество соответствующих исследований. Экономическая выгода от практической реализации данного подхода в масштабах страны может составлять до 5,6 млрд рублей ежегодно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов С.П., Владимирский А.В., Ледихова Н.В. Телерадиология в Российской Федерации: достигнутый уровень // Врач и информационные технологии. 2019. № 2. С. 67–73.
2. Карпов А.В., Болотских В.В., Карпов Д.С. Значение цифрового флюорографического обследования в ранней диагностике легочных форм туберкулеза в современных условиях // Туберкулез и социально-значимые заболевания. 2019. № 4. С. 50–51.
3. Ломаков С.Ю., Строганов Е.А. Современные аспекты организации профилактических лучевых исследований методом флюорографии // Международный академический вестник. 2019. № 11 (43). С. 4–6.
4. Маркелов Ю.М., Щеголева Л.В. Клинико-экономические аспекты выявления туберкулеза при массовых флюорографических осмотрах населения // Вестник рентгенологии и радиологии. 2021. Т. 102. № 3. С. 148–154. doi: 10.20862/0042-4676-2021-102-3-148-154
5. Маркелов Ю.М., Щеголева Л.В. Оценка клинико-экономической эффективности и влияния массовых флюорографических осмотров на эпидемиологические показатели по туберкулезу в четырех федеральных округах РФ с различным уровнем охвата флюорографическими осмотрами населения // Туберкулез и болезни легких. 2023. Т. 101. № 1. С. 8–16. doi: 10.58838/2075-1230-2023-101-1-8-16
6. Рубис Л.В. Эффективность массовых профилактических осмотров городского населения в учреждениях, оказывающих первичную медико-санитарную помощь, с целью ранней диагностики туберкулеза // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2021. № 3. С. 1–13. doi: 10.24412/2312-2935-2021-3-1-13
7. Geijer H, Geijer M. Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review. *Insights Imaging*. 2018;9(3):287–301. doi: 10.1007/s13244-018-0599-0
8. Posso M, Puig T, Carles M, Rué M, Canelo-Aybar C, Bonfill X. Effectiveness and cost-effectiveness of double reading in digital mammography screening: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Radiol*. 2017;96:40–49. doi: 10.1016/j.ejrad.2017.09.013
9. Johnson AEW, Pollard TJ, Berkowitz SJ, et al. MIMIC-CXR, a de-identified publicly available database of chest radiographs with free-text reports. *Sci Data*. 2019;6(1):317. doi: 10.1038/s41597-019-0322-0
10. Do HM, Spear LG, Nikpanah M, et al. Augmented radiologist workflow improves report value and saves time: A potential model for implementation of artificial intelligence. *Acad Radiol*. 2020;27(1):96–105. doi: 10.1016/j.acra.2019.09.014
11. Harris M, Qi A, Jeagal L, et al. A systematic review of the diagnostic accuracy of artificial intelligence-based computer programs to analyze chest x-rays for pulmonary tuberculosis. *PLoS One*. 2019;14(9):e0221339. doi: 10.1371/journal.pone.0221339
12. Codlin AJ, Dao TP, Vo LNQ, et al. Independent evaluation of 12 artificial intelligence solutions for the detection of tuberculosis. *Sci Rep*. 2021;11(1):23895. doi: 10.1038/s41598-021-03265-0
13. Adams SJ, Henderson RDE, Yi X, Babyn P. Artificial intelligence solutions for analysis of X-ray images. *Can Assoc Radiol J*. 2021;72(1):60–72. doi: 10.1177/0846537120941671
14. Wu JT, Wong KCL, Gur Y, et al. Comparison of chest radiograph interpretations by artificial intelligence algorithm vs radiology residents. *JAMA Netw Open*. 2020;3(10):e2022779. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.22779
15. Miró Catalina Q, Fuster-Casanovas A, Solé-Casals J, Vidal-Alaball J. Developing an artificial intelligence model for reading chest X-rays: Protocol for a prospective validation study. *JMIR Res Protoc*. 2022;11(11):e39536. doi: 10.2196/39536
16. Zinchenko V, Chetverikov S, Akhmad E, et al. Changes in software as a medical device based on artificial intelligence technologies. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2022;17(10):1969–1977. doi: 10.1007/s11548-022-02669-1
17. Yoo H, Kim EY, Kim H, et al. Artificial intelligence-based identification of normal chest radiographs: A simulation study in a multicenter health screening cohort. *Korean J Radiol*. 2022;23(10):1009–1018. doi: 10.3348/kjr.2022.0189
18. Bradley SH, Bhartia BS, Callister ME, et al. Chest X-ray sensitivity and lung cancer outcomes: A retrospective observational study. *Br J Gen Pract*. 2021;71(712):e862–e868. doi: 10.3399/BJGP.2020.1099
19. Ahn JS, Ebrahimian S, McDermott S, et al. Association of artificial intelligence-aided chest radiograph interpretation with reader performance and efficiency.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-23-32>
Original Research Article

- JAMA Netw Open.* 2022;5(8):e2229289. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.29289
20. Codlin AJ, Dao TP, Vo LNQ, et al. Independent evaluation of 12 artificial intelligence solutions for the detection of tuberculosis. *Sci Rep.* 2021;11(1):23895. doi: 10.1038/s41598-021-03265-0
 21. Abedalla A, Abdullah M, Al-Ayyoub M, Benkhelifa E. Chest X-ray pneumothorax segmentation using U-Net with EfficientNet and ResNet architectures. *PeerJ Comput Sci.* 2021;7:e607. doi: 10.7717/peerj-cs.607
 22. Albahli S, Nazir T. AI-CenterNet CXR: An artificial intelligence (AI) enabled system for localization and classification of chest X-ray disease. *Front Med (Lausanne).* 2022;9:955765. doi: 10.3389/fmed.2022.955765
 23. Harkness R, Hall G, Frangi AF, Ravikumar N, Zucker K. The pitfalls of using open data to develop deep learning solutions for COVID-19 detection in chest X-rays. *Stud Health Technol Inform.* 2022;290:679-683. doi: 10.3233/SHTI220164
 10. Do HM, Spear LG, Nikpanah M, et al. Augmented radiologist workflow improves report value and saves time: A potential model for implementation of artificial intelligence. *Acad Radiol.* 2020;27(1):96-105. doi: 10.1016/j.acra.2019.09.014
 11. Harris M, Qi A, Jeagal L, et al. A systematic review of the diagnostic accuracy of artificial intelligence-based computer programs to analyze chest x-rays for pulmonary tuberculosis. *PLoS One.* 2019;14(9):e0221339. doi: 10.1371/journal.pone.0221339
 12. Codlin AJ, Dao TP, Vo LNQ, et al. Independent evaluation of 12 artificial intelligence solutions for the detection of tuberculosis. *Sci Rep.* 2021;11(1):23895. doi: 10.1038/s41598-021-03265-0
 13. Adams SJ, Henderson RDE, Yi X, Babyn P. Artificial intelligence solutions for analysis of X-ray images. *Can Assoc Radiol J.* 2021;72(1):60-72. doi: 10.1177/0846537120941671
 14. Wu JT, Wong KCL, Gur Y, et al. Comparison of chest radiograph interpretations by artificial intelligence algorithm vs radiology residents. *JAMA Netw Open.* 2020;3(10):e2022779. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.22779
 15. Miró Catalina Q, Fuster-Casanovas A, Solé-Casals J, Vidal-Alaball J. Developing an artificial intelligence model for reading chest X-rays: Protocol for a prospective validation study. *JMIR Res Protoc.* 2022;11(11):e39536. doi: 10.2196/39536
 16. Zinchenko V, Chetverikov S, Akhmad E, et al. Changes in software as a medical device based on artificial intelligence technologies. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2022;17(10):1969-1977. doi: 10.1007/s11548-022-02669-1
 17. Yoo H, Kim EY, Kim H, et al. Artificial intelligence-based identification of normal chest radiographs: A simulation study in a multicenter health screening cohort. *Korean J Radiol.* 2022;23(10):1009-1018. doi: 10.3348/kjr.2022.0189
 18. Bradley SH, Bhartia BS, Callister ME, et al. Chest X-ray sensitivity and lung cancer outcomes: A retrospective observational study. *Br J Gen Pract.* 2021;71(712):e862-e868. doi: 10.3399/BJGP.2020.1099
 19. Ahn JS, Ebrahimian S, McDermott S, et al. Association of artificial intelligence-aided chest radiograph interpretation with reader performance and efficiency. *JAMA Netw Open.* 2022;5(8):e2229289. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.29289
 20. Codlin AJ, Dao TP, Vo LNQ, et al. Independent evaluation of 12 artificial intelligence solutions for the detection of tuberculosis. *Sci Rep.* 2021;11(1):23895. doi: 10.1038/s41598-021-03265-0
 21. Abedalla A, Abdullah M, Al-Ayyoub M, Benkhelifa E. Chest X-ray pneumothorax segmentation using U-Net with EfficientNet and ResNet architectures. *PeerJ Comput Sci.* 2021;7:e607. doi: 10.7717/peerj-cs.607
 22. Albahli S, Nazir T. AI-CenterNet CXR: An artificial intelligence (AI) enabled system for localization and classification of chest X-ray disease. *Front Med (Lausanne).* 2022;9:955765. doi: 10.3389/fmed.2022.955765
 23. Harkness R, Hall G, Frangi AF, Ravikumar N, Zucker K. The pitfalls of using open data to develop deep learning solutions for COVID-19 detection in chest X-rays. *Stud Health Technol Inform.* 2022;290:679-683. doi: 10.3233/SHTI220164

REFERENCES

1. Morozov SP, Vladzimirskiy AV, Ledikhova NV. Tele-radiology in Russian Federation: State-of-art. *Vrach i Informatsionnye Tekhnologii.* 2019;(2):67-73. (In Russ.)
2. Karpov AV, Bolotskikh VV, Karpov DS. [The value of digital fluorographic examination in the early diagnosis of pulmonary forms of tuberculosis in modern conditions.] *Tuberkulez i Sotsial'no-Znachimye Zabolevaniya.* 2019;(4):50-51. (In Russ.)
3. Lomakov SYu, Stroganov EA. [Modern aspects of organizing prophylactic radiation studies using fluorography.] *Mezhdunarodnyy Akademicheskii Vestnik.* 2019;(11(43)):4-6. (In Russ.)
4. Markelov YuM, Shchegoleva LV. Clinical and economic aspects of tuberculosis detection during mass fluorographic examinations of the population. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii.* 2021;102(3):148-154. (In Russ.) doi: 10.20862/0042-4676-2021-102-3-148-154
5. Markelov YuM, Shchegoleva LV. Evaluation of clinical and economic efficiency and impact of mass fluorography screening on tuberculosis epidemiological rates in four federal districts of the Russian Federation with different levels of population coverage with mass fluorography screening. *Tuberkulez i Bolezni Legkikh.* 2023;101(1):8-16. (In Russ.) doi: 10.58838/2075-1230-2023-101-1-8-16
6. Rubis LV. Efficiency of mass preventive examinations of the urban population for the purpose of early diagnosis of tuberculosis in primary health care institutions. *Sovremennye Problemy Zdravookhraneniya i Meditsinskoy Statistiki.* 2021;(3):1-13. (In Russ.) doi: 10.24412/2312-2935-2021-3-1-13
7. Geijer H, Geijer M. Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review. *Insights Imaging.* 2018;9(3):287-301. doi: 10.1007/s13244-018-0599-0
8. Posso M, Puig T, Carles M, Rué M, Canelo-Aybar C, Bonfill X. Effectiveness and cost-effectiveness of double reading in digital mammography screening: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Radiol.* 2017;96:40-49. doi: 10.1016/j.ejrad.2017.09.013
9. Johnson AEW, Pollard TJ, Berkowitz SJ, et al. MIMIC-CXR, a de-identified publicly available database of chest radiographs with free-text reports. *Sci Data.* 2019;6(1):317. doi: 10.1038/s41597-019-0322-0

Сведения об авторах:

Васильев Юрий Александрович – к.м.н., директор ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; e-mail: nrcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>.

Тыров Илья Александрович – заместитель руководителя Департамента здравоохранения города Москвы; e-mail: nrcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-624X>.

Владимирский Антон Вячеславович – д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>.

✉ **Арзамасов** Кирилл Михайлович – к.м.н., руководитель отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>.

Пестренин Лев Дмитриевич – младший научный сотрудник отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1786-4329>.

Шулькин Игорь Михайлович – заместитель директора по перспективному развитию ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7613-5273>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владимирский А.В.*; сбор данных: *Арзамасов К.М., Шулькин И.М.*; анализ и интерпретация результатов: *Владимирский А.В., Арзамасов К.М.*; литературный обзор: *Владимирский А.В., Пестренин Л.Д.*; подготовка рукописи: *Владимирский А.В., Арзамасов К.М., Пестренин Л.Д.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование основано на результатах Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы, утвержденного этическим комитетом (выписка из протокола № 2 НЭК МРО РОПР от 20 февраля 2020 года), также зарегистрированного на ClinicalTrials (NCT04489992).

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания «Научные методологии устойчивого развития технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике».

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: X.X.23 / Принята к публикации: 10.10.23 / Опубликовано: 30.10.23

Author information:

Yuriy A. **Vasilev**, Cand. Sci. (Med.), Director, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>.

Ilya A. **Tyrov**, Deputy Head of the Moscow Department of Health; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-624X>.

Anton V. **Vladzimirskyy**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Research, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>.

✉ Kirill M. **Arzamasov**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>.

Lev D. **Pestrenin**, Junior Researcher, Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1786-4329>.

Igor M. **Shulkin**, Deputy Director for Prospective Development, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7613-5273>.

Author contributions: study conception and design: *Vasilev Yu.A., Tyrov I.A., Vladzimirskyy A.V.*; data collection: *Arzamasov K.M., Shulkin I.M.*; analysis and interpretation of results: *Vladzimirskyy A.V., Arzamasov K.M.*; literature review: *Vladzimirskyy A.V., Pestrenin L.D.*; draft manuscript preparation: *Vladzimirskyy A.V., Arzamasov K.M., Pestrenin L.D.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: This research is based on the results of the experiment on the use of computer vision for automated medical image analysis and further application in the health system of Moscow approved by the Local Ethics Committee of the Moscow Regional Branch of the Russian Society of Radiologists (protocol No. 2 of February 20, 2020), also registered with ClinicalTrials.gov (NCT04489992).

Funding: The research was carried out within the government assignment “Scientific methodologies for the sustainable development of artificial intelligence technologies in medical diagnosis”.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: XX X, 2023 / Accepted: November 10, 2023 / Published: November 30, 2023