

Автономный искусственный интеллект для сортировки результатов профилактических лучевых исследований на примере маммографии

Ю. А. Васильев¹, К. М. Арзамасов¹, А. В. Владзимирский¹, А. В. Колсанов²,
И. М. Шулькин¹, Т. М. Бобровская¹ ✉, Л. Д. Пестренин¹

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

² Самарский государственный медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара 443099, Российская Федерация

✉ e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

Резюме

Цель исследования. Лучевая диагностика занимает центральное место в выявлении злокачественных новообразований. В последнее время реализация скрининговых программ сталкивается с рядом препятствий, включая кадровый дефицит и ограниченное финансирование. Внедрение систем на базе искусственного интеллекта (ИИ), способных к абсолютно точной сортировке исследований по двум категориям – «норма» и «не норма», представляется перспективным решением указанных проблем. Однако, прежде чем их широко применять, критически важно удостовериться в их способности гарантировать безопасность и высокое качество процесса скрининга. Цель исследования – оценить возможность применения автономной сортировки результатов маммографических исследований в реальных клинических условиях.

Методы. Исследование выполнено в 2 этапа. На первом ретроспективно проанализировано 25 892 маммографических исследования, обработанных ИИ-сервисом. Проведен ROC-анализ этих результатов с целью оценки возможности его настройки ИИ-сервиса на чувствительность 100%. На проспективном этапе анализировались результаты 82 372 маммографий. Все исследования были обработаны ИИ-сервисами, настроенными на чувствительность 100%. В задачи ИИ-сервисов входила сортировка результатов маммографии на категории «норма» и «не норма». Далее было выполнено сопоставление решений ИИ-сервисов и врачей-рентгенологов о категорировании.

Результаты. По результатам ретроспективного исследования при настройке ИИ-сервиса на 100% чувствительность специфичность составила 39%. В ходе проспективного исследования удельный вес дефектов (ложных отнесений результатов исследований к категории «норма») составил 0,08 %, удельный вес клинически значимых дефектов ИИ-сервисов – 0,02%, что существенно ниже, чем у врача-рентгенолога.

© Васильев Ю. А., Арзамасов К. М., Владзимирский А. В., Колсанов А. В., Шулькин И. М.,
Бобровская Т. М., Пестренин Л. Д., 2024

Заключение. Применение автономной сортировки результатов маммографических исследований в клинической практике возможно с целью оптимизации диагностического процесса при проведении профилактических мероприятий, а также при условии мониторинга качества работы технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект; маммография; профилактические обследования; лучевая диагностика.

Финансирование: Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Научные методологии устойчивого развития технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике» (№ ЕГИСУ: 123031500004-5) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Автономный искусственный интеллект для сортировки результатов профилактических лучевых исследований на примере маммографии / Ю. А. Васильев, К. М. Арзамасов, А. В. Владимирский, А. В. Колсанов, И. М. Шулькин, Т. М. Бобровская, Л. Д. Пестренин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 3. С. 8–21. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-3-8-21>

Поступила в редакцию 07.07.2024

Подписана в печать 04.08.2024

Опубликована 30.09.2024

Autonomous artificial intelligence for sorting the results of preventive radiological studies on the example of mammography

Yuriy A. Vasilev¹, Kirill M. Arzamasov¹, Anton V. Vladzimirskyy¹,
Alexander V. Kolsanov², Igor M. Shulkin¹,
Tatiana M. Bobrovskaya¹ ✉, Lev D. Pestrenin¹

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

² Samara State Medical University of the Ministry
of Health of the Russian Federation
89 Chapayevskaya Str., Samara 443099, Russian Federation

✉ e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

Abstract

The purpose of research. Radiation diagnostics is central to the detection of malignant neoplasms. Recently, the implementation of screening programs has faced a number of obstacles, including staff shortages and limited funding. The introduction of artificial intelligence (AI)-based systems capable of absolutely accurate sorting of research into two categories - "normal" and "not normal", seems to be a promising solution to these problems. However, before they are widely used, it is critically important to verify their ability to guarantee the safety and high quality of the screening process. The aim of the study is to evaluate the possibility of using autonomous sorting of mammographic examination results in real clinical conditions.

Methods. The study was carried out in 2 stages. At the first stage, 25,892 mammographic studies processed by the AI service were retrospectively analyzed. A ROC analysis of these results was carried out in order to assess the possibility of configuring the AI service for 100% sensitivity. At the prospective stage, the results of 82,372 mammograms were analyzed. All studies were processed by AI services configured for 100% sensitivity. The tasks of the AI services included the sorting of mammography results into the categories "normal" and "not normal". Next, the decisions of AI services and radiologists on categorization were compared.

Results. According to the results of a retrospective study, when configuring the AI service for 100% sensitivity, the specificity was 39%. In the course of a prospective study, the proportion of defects (false attribution of research results to the "norm" category) was 0.08%, the specific weight of clinically significant defects in AI services was 0.02%, which is significantly lower than that of a radiologist.

Conclusion. The use of autonomous sorting of mammographic research results in clinical practice is possible in order to optimize the diagnostic process during preventive measures, as well as under the condition of monitoring the quality of artificial intelligence technologies. Keywords: artificial intelligence, mammography, preventive examinations, radiation diagnostics. Conflict of interest: The author declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Keywords: artificial intelligence; mammography; preventive examinations; radiation diagnostics.

Funding: This article was prepared by the author's team within the framework of the research work "Scientific methodologies for the sustainable development of artificial intelligence technologies in medical diagnostics" (EGISU No.: 123031500004-5) in accordance with the Order dated 12/21/2022. No. 1196 "On approval of state assignments, the financial support of which is carried out at the expense of the budget of the city of Moscow to state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Department of Health of the City of Moscow for 2023 and the planned period 2024 and 2025" of the Department of Health of the City of Moscow.

Conflict of interest: The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Vasiliev Yu.A., Arzamasov K.M., Vladzimirsky A.V., Kolsanov A.V., Shulkin I.M., Bobrovskaya T.M., Pestenin L.D. Autonomous artificial intelligence for sorting the results of preventive radiological studies on the example of mammography. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024;14(3):8–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-3-8-21>

Received 07.07.2024

Accepted 04.08.2024

Published 30.09.2024

Введение

Раннее выявление признаков злокачественных новообразований (ЗНО) является одной из основных задач профилактики. В России ЗНО молочной железы является ведущей (22,4%) онкологической патологией у женского населения. В структуре смертности женщин наибольший удельный вес имеют также ЗНО молочной железы (15,8%) [1].

По данным Московского научно-исследовательского онкологического института имени П. А. Герцена, в 2022 г. было выявлено 76520 пациентов с

впервые в жизни установленным диагнозом ЗНО молочной железы. При этом за 10 лет (с 2013 г. по 2022 г.) этот показатель увеличился на 26,0% [1].

Маммография является основным методом скрининга ЗНО молочных желез. Важно отметить, что доля исследований с патологией при проведении ММГ не превышает 10%, а это означает, что абсолютное большинство исследований будет описываться врачами-рентгенологами как «норма» [2; 3].

В соответствии с научно обоснованными требованиями и нормативно-правовыми актами должны выполняться

двойные описания¹. Каждое исследование должно быть независимо описано двумя врачами-рентгенологами, что создает еще большую ресурсную нагрузку. На этом фоне в лучевой диагностике сохраняется серьезный дефицит кадров [4; 5; 6].

За последние пять лет в России активно развиваются решения на основе технологий искусственного интеллекта (ТИИ), в т. ч. по маммографии. На практике этот процесс можно оценить по появлению первых медицинских изделий, в качестве которых зарегистрировано программное обеспечение (ПО) на основе ТИИ. Ранее нами уже была показана возможность двойных просмотров результатов маммографии с применением таких медицинских изделий, т. е. схема «врач + врач» была заменена на «врач + медицинское изделие с ИИ» [7]. К моменту подготовки статьи в России уже оказано несколько десятков тысяч соответствующих медицинских услуг, финансируемых системой обязательного медицинского страхования. Как показывает анализ первых десяти тысяч таковых, согласованность между ИИ и врачом-рентгенологом достигает 84,10%, при этом именно медицинское изделие чаще присваивает более высокую категорию BI-RADS, что приводит к снижению количества пропусков

злокачественных новообразований молочных желез [8].

В рамках настоящей работы предлагается сделать следующий шаг в сторону автоматизации проведения маммографического исследования. При этом важно отметить, что автоматизации будет подвергаться только сортировка исследований на две группы: «норма», заключение по этой группе может быть оформлено в виде электронной медицинской записи², и «не норма», которая будет подвергаться полноценному врачебному описанию.

Цель исследования – оценить возможность применения автономной сортировки результатов маммографических исследований в реальных клинических условиях.

Материал и методы

Дизайн: исследование состоит из двух этапов – ретроспективный и проспективный. Работы выполнены на базе ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины ДЗМ» в период 01.01.2023–31.10.2023.

Критерии включения: возраст старше 18 лет; пол женский; наличие в карте пациента направления на проведение ММГ и результатов в стандарте DICOM профилактического лучевого исследования.

¹ Об утверждении Порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения: приказ Минздрава России (Министерство здравоохранения РФ) от 27 апреля 2021 г. № 404н. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401314440/?ysclid=m165ezj9x2770995042> (дата обращения: 18.06.2024).

² Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 07.09.2020 г. № 947н «Об утверждении Порядка организации системы документооборота в сфере охраны здоровья в части ведения медицинской документации в форме электронных документов». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400083202/?ysclid=m165ow42e343854419> (дата обращения: 18.06.2024).

Критерии исключения: лучевые исследования иной модальности; ММГ, выполненные с диагностической целью; отсутствие подписанного информированного согласия на участие в исследовании.

В исследование на первом (ретроспективном) этапе дополнительно была исключена группа BI-RADS 3, т. к. в дизайн проспективного исследования не предполагал экспертного пересмотра. Таким образом, было включено 25 892 маммографии в рамках ретроспективного этапа, на втором (проспективном) этапе – 82 372 ММГ.

Использованы медицинские изделия на базе технологий искусственного интеллекта (ИИ-сервисы) для автоматизированного анализа результатов профилактической маммографии («АО Медицинские технологии Лтд», «Трио ДМ»; ООО «Платформа Третье Мнение», «Третье мнение ММГ»; ООО «Медицинские скрининг системы», «Цельс ММГ»). В дальнейшем по тексту будут использоваться анонимизированные наименования ИИ-сервисов: ИИ-1, ИИ-2 и ИИ-3. Все ИИ-сервисы предоставляли результаты в стандартном виде, регламентированном базовыми функциональными и диагностическими требованиями [9]. Врачу рентгенологу были доступны дополнительные графические серии с разметкой патологических областей и дополнительной текстовой серией. ИИ-сервисы были интегрированы в информационную систему в сфере здравоохранения субъекта РФ – Единый радиологический информационный сервис

Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС). В этой же системе осуществлялась работа врачей-рентгенологов.

На ретроспективном этапе участвовал только ИИ-3, который имел исходную настройку, однако в качестве результата кроме описанных выше дополнительных серий были получены значения вероятностей наличия патологии в диапазоне 0-100%. Референс-тестом в этом случае являлся протокол, оформленный врачом-рентгенологом при проведении первичной интерпретации результатов ММГ. Протокол исследования обрабатывался при помощи автоматизированного инструмента анализа протоколов, и ему присваивался один из двух лейблов – «норма» (BI-RADS 1,2) и «не норма» (BI-RADS 4,5). На основе этих данных при помощи интерактивного инструмента (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617324) был проведен ROC-анализ для оценки возможности настройки порога срабатывания ИИ-сервиса таким образом, чтобы можно было получить 100%-ную чувствительность.

На проспективном этапе разработчиков ИИ-сервисов попросили перенастроить работу своих решений таким образом, чтобы чувствительность составляла 100%; значение специфичности было не существенно. В соответствии с методологией STARD 2015 [10] индекс-тестом был ИИ-сервис, интегрированный в ЕРИС ЕМИАС; референс-тестом № 1 –

протокол, оформленный врачом-рентгенологом при проведении первичной интерпретации результатов ММГ; референс-тестом № 2 – пересмотр результатов работы ИИ-сервиса и протокола врача квалифицированным экспертом с соответствующей субспециализацией.

Ход исследования был следующим. После назначения и выполнения ММГ результаты исследования сохранялись в ЕРИС ЕМИАС и параллельно маршрутизировались на анализ ИИ-сервисом и описание врачом-рентгенологом. В задачи ИИ-сервиса входила сортировка результатов ММГ на категории «норма» и «не норма». Результаты работы ИИ были неизвестны и недоступны врачу-рентгенологу. Далее выполнено сопоставление решений ИИ-сервисов и врачей-рентгенологов о категорировании; при этом использован инструмент для автоматизированного анализа текста протоколов. На проспективном этапе

случаи с выявленными расхождениями направлялись на экспертный пересмотр.

Использованы методы описательной статистики, ROC-анализ, критерий Пирсона (хи-квадрат).

Результаты и их обсуждение

Ретроспективный этап

На рисунке 1 представлена характеристическая кривая, полученная на основе 25 892 исследований. Интерактивный инструмент позволяет, перемещаясь от точки к точке, получать информацию о показателях диагностической точности для конкретного порога срабатывания, соответствующего этой точке на характеристической кривой. Таким образом, было найдено самое низкое значение для порога срабатывания, при котором чувствительность соответствует 1,00 (100%). При такой настройке ИИ-сервиса корректно будет классифицировано 8 265 исследований, что составляет 32% от всего потока.

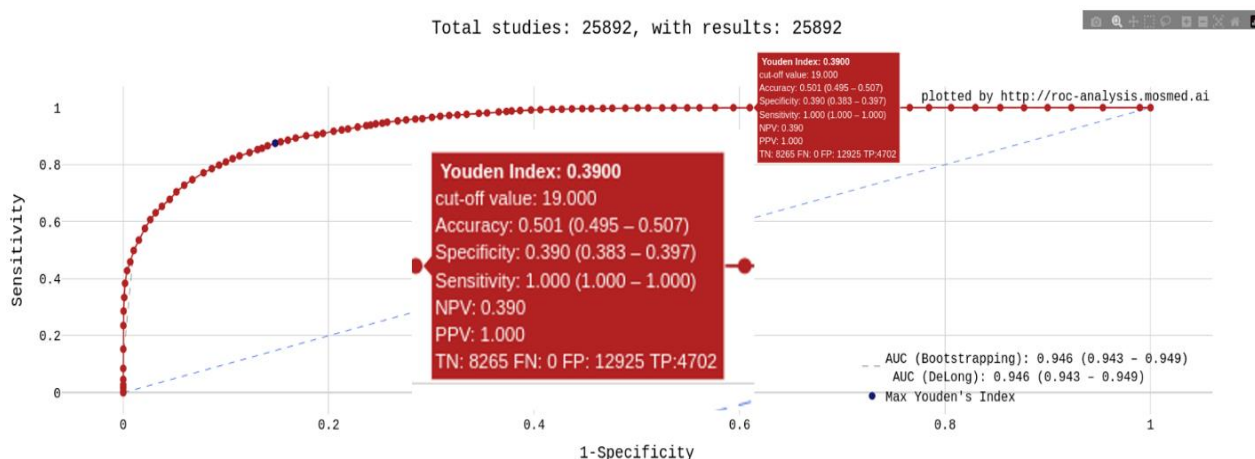


Рис. 1. Характеристическая кривая для ПО на основе ТИИ: ● – оптимальная сбалансированная настройка; ● – показатели диагностической точности, соответствующие чувствительности, равной 1,00 (100%)

Fig. 1. The characteristic curve for software based on TII: ● – optimal balanced setting; ● – diagnostic accuracy indicators corresponding to sensitivity equal to 1.00 (100%)

Перспективный этап

ИИ-сервисами проанализированы результаты 82 372 профилактических маммографий (ММГ). К категории «норма» при автоматизированном

анализе было отнесено 15,7% (12 913) результатов маммографий, к категории «не норма» – 84,3% (69 459). Подробные данные представлены ниже (табл. 1).

Таблица 1. Итоги работы ИИ-сервисов для автономной сортировки результатов профилактической маммографии

Table 1. Results of the work of AI services for autonomous triage of preventive mammography results

ИИ-сервис / AI service	Общее количество проанализированных исследований, абс. / Total number of analyzed studies, abs.	Исследований категории «норма» / Studies from "normal" category		Исследований категории «не норма» / Studies from "not normal" category	
		Абс. / Abs.	Относит. / Rel., %	Абс. / Abs.	Относит. / Rel., %
ИИ-1/AI-1	20 632	2 179	10,6	18 453	89,4
ИИ-2/AI-2	6 430	2 963	46,1	3 467	53,9
ИИ-3/AI-3	55 310	7 771	14,0	47 539	86,0
Итого/Total	82 372	12 913	15,7	69 459	84,3

Наибольшее количество исследований обработал ИИ-3 (67,1%), наименьшее (7,8%) – ИИ-2. Это обусловлено техническими ограничениями, а также тем, что ИИ-2 в период исследования был преимущественно задействован для оказания медицинской услуги с применением технологий ИИ в рамках территориальной программы государственных гарантий оказания гражданам бесплатной медицинской помощи г. Москвы [8].

К категории «норма» статистически значимо большее число исследований было отнесено ИИ-2 (46,1%), меньше всего таких решений принял ИИ-1 (10,6%) ($p < 0,001$).

Следующий шаг для каждого случая ($n = 12\,913$), попавшего в категорию «норма», – сопоставление решений ИИ и врача-рентгенолога, проводившего первичное описание. Полное согласие решений об отнесении результатов

данного исследования к категории по шкале «BI-RADS» зафиксировано в 98,8% (12 765) случаев, расхождения выявлены только в 1,2% (148).

Далее 148 случаев с расхождениями представлены на пересмотр врачом-экспертом с субспециализацией. В результате решение ИИ «норма» было подтверждено в 41,2% (61) случаев, решение врача «не норма» – в 58,8% (87).

Установлено, что ИИ провел неправильную сортировку в 87 случаях. Вместе с тем 65 исследованиях из указанного количества врачом-экспертом были отнесены к категории BI-RADS-3, к категории BI-RADS-4 – 19, к категории BI-RADS-5,6 – 3. Таким образом, при автономной сортировке результатов профилактической маммографии клинически значимое расхождение ИИ допустил в 22 случаях, что составило 0,02% от общего количества проанализированных

исследований. Полностью же корректно автономная сортировка была выполнена в 99,9% (82 258) случаев.

Искусственный интеллект является одним из самых перспективных направлений в современном мире. Здравоохранение – одна из сфер, базируясь на научных исследованиях, активно внедряет технологии ИИ по всему миру. Тем не менее большинство работ носят теоретический характер, описывают математические зависимости, программные разработки, но они не всегда применимы в клинической практике или носят экспериментальный, исследовательский характер. Исследования зачастую выполняются ретроспективно, на ограниченном объеме данных, а данные, полученные в эксперименте, не всегда применимы на практике. При этом наибольший интерес вызывают работы прикладного характера, связанные с сопоставлением диагностической точности ИИ и врачей, сравнением различных алгоритмов, в частности, для анализа результатов маммографий.

До настоящего момента ИИ рассматривался преимущественно в качестве «помощника» врача, системы поддержки принятия врачебных решений, оставляя выбор возможности его использования за специалистом. Таким образом, применение технологий ИИ с целью устранения кадрового дефицита и увеличения охвата профилактических мероприятий не представляется возможным.

Напротив, в случае системного подхода применения технологий ИИ становится возможным оптимизация процессов организации здравоохранения.

Одним из способов это реализовать является так называемый автономный ИИ, способный осуществлять независимую сортировку результатов профилактических исследований в лучевой диагностике, подавляющее большинство из которых является «нормой».

В ходе ретроспективного анализа на 25 тысячах маммографий из реального потока исследований медицинских организаций, подведомственных ДЗМ, была доказана возможность настройки одного из решений на основе технологий ИИ на чувствительность, равную 1,00 (100%). При такой настройке удалось «отсеять» 32% потока исследований с «нормой». Эти исследования можно не направлять врачу-рентгенологу, а формировать электронную медицинскую запись. Данное исследование, как и некоторые предыдущие [7; 11], показало теоретическую возможность реализации автономной сортировки исследований. Однако по сравнению с предыдущими исследованиями доля исследований с «нормой» в настоящем ретроспективном исследовании оказалась статистически значимо ниже (отсутствует пересечение 95% доверительного интервала для специфичности: в настоящем исследовании 0,383 – 0,397, в предыдущем – 0,402 – 0,678).

На проспективном этапе работы были получены высокие значения диагностической точности: удельный вес ложных отнесений результатов исследований к категории «норма» составляет 0,08% (0,008), а клинически значимые расхождения – 0,02% (0,0002). Для понимания возможности практического применения технологий ИИ необходимо сравнить результаты его работы с

врачом, чувствительность которого априори считают за 1,00 (100%). Тем не менее необходимо постоянно совершенствовать качество предоставляемых результатов диагностических исследований. В том числе с этой целью проводятся различные исследования, направленные на оценку точности и согласованности результатов работы врачей-рентгенологов. Так было показано, что удельный вес клинически значимых пропусков патологии при интерпретации результатов маммографий колеблется в обширном диапазоне от 3,5% (0,035) до 30,0% (0,30) [12; 13; 14; 15; 16; 17].

При этом в настоящей работе удельный вес дефектов ИИ-сервисов по анализу ММГ составил 0,08%, а клинически значимых дефектов – 0,02%, что существенно ниже полученных в описанных работах значений. Это говорит о том, что автономная сортировка результатов профилактических лучевых исследований с использованием ИИ-сервисов применима на практике и не только сопоставима, но и превышает показатели врача-рентгенолога.

Таким образом, автономная сортировка результатов профилактических лучевых исследований медицинским изделием на основе ИИ превышает по своей безопасности и точности врача-рентгенолога [12; 13; 14; 15; 16; 17]. На основании этого возможно рассмотрение автономного ИИ в качестве подхода к оптимизации диагностического процесса, повышения доступности медицинской помощи, совершенствования профилактических мероприятий, что предполагается осуществимым путем

создания специальных медицинских услуг, регламентирующих использование технологий ИИ. Однако при этом необходим тщательный мониторинг контроля качества работы технологий ИИ.

Выводы

Предложена новая модель организации медицинской помощи на основе автономной сортировки результатов профилактических лучевых исследований медицинским изделием, опираясь на искусственный интеллект. Модель подразумевает автоматизированное разделение результатов маммографии на две категории – «норма» и «не норма». Для категории «норма» в карте пациента формируется электронная медицинская запись, которая сразу становится доступной обследованному лицу и лечащему врачу. Категория «не норма» направляется на описание врачом-рентгенологом, который выполняет интерпретацию и формирует протокол.

Такая модель была апробирована проспективно на данных профилактической маммографии. Удельный вес дефектов ИИ (ложных отнесений результатов исследований к категории «норма») составил 0,08%, а клинически значимых – 0,02%, что существенно ниже, чем у врача-рентгенолога.

Таким образом, описанная модель применима в условиях реальной клинической практики с целью расширения возможностей проведения профилактических мероприятий, решения вопроса кадрового дефицита и оптимизации диагностического процесса в целом.

Список литературы

1. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна [и др.]. М.: МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2023. 275 с.
2. Методические рекомендации по выполнению программы популяционного скрининга злокачественных новообразований молочной железы среди женского населения / А. М. Беляев [и др.]. URL: <http://onkokms.ru/images/doc/vracham/popsk.pdf?ysclid=m165517nps854446616> (дата обращения: 11.06.2024).
3. Ломаков С. Ю. Объемы маммографических исследований в современных условиях проведения профилактических мероприятий // Профилактическая медицина. 2020. Т. 24, № 4. С. 41–44.
4. Особенности развития службы лучевой диагностики в Российской Федерации за 2014–2019 года / Н. А. Голубев, Е. В. Огрызко, Е. М. Тюрина, Е. А. Шелепова, П. В. Шелехов // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2021. № 2. С. 356–376. <https://doi.org/10.24412/2312-2935-2021-2-356-376>
5. Шелехов П. В. Кадровая ситуация в лучевой диагностике // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2019. № 1. С. 265–275.
6. A survey by the European Society of Breast Imaging on radiologists' preferences regarding quality assurance measures of image interpretation in screening and diagnostic mammography / E. Michalopoulou, P. Clauser, F. J. Gilbert, R. M. Pijnappel, R. M. Mann, P. A. T. Baltzer, Y. Chen, E. M. Fallenberg // Eur. Radiol. 2023. Vol. 33, N 11. P. 8103–8111. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09973-7>
7. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований / Ю. А. Васильев, И. А. Тыров, А. В. Владимирский, К. М. Арзамасов, И. М. Шулькин, Д. Д. Кожихина, Л. Д. Пестренин // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 2. С. 93–104. <https://doi.org/10.17816/DD321423>
8. Первые 10000 маммографических исследований, выполненных в рамках услуги «Описание и интерпретация данных маммографического исследования с использованием искусственного интеллекта» / Ю. А. Васильев, А. В. Владимирский, К. М. Арзамасов, И. М. Шулькин, Л. Е. Аксенова, Л. Д. Пестренин, С. С. Семенов, Д. В. Бондарчук, И. В. Смирнов // Менеджер здравоохранения. 2023. № 8. С. 54–67. <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2023-8-54-67>
9. Базовые рекомендации к работе сервисов искусственного интеллекта для лучевой диагностики: методические рекомендации № 54. М.: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2022. 68 с.
10. For the STARD Group. STARD 2015: An Updated List of Essential Items for Reporting Diagnostic Accuracy Studies / P. M. Bossuyt, J. B. Reitsma, D. E. Bruns, C. A. Gatsonis, P. P. Glasziou, L. Irwig, J. G. Lijmer, D. Moher, D. Rennie, H. C. de Vet, H. Y. Kressel, N. Rifai, R. M. Golub, D. G. Altman, L. Hooft, D. A., Korevaar J. F. Cohen // Radiology. 2015. N 277(3). P. 826–832. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151516>

11. Эффективность применения технологий искусственного интеллекта для двойных описаний результатов профилактических исследований легких / А. В. Владимирский, Н. Д. Кудрявцев, Д. Д. Кожихина, И. М. Шулькин, С. П. Морозов, Н. В. Ледихова, В. Г. Кляшторный, И. В. Гончарова, А. В. Новиков, О. М. Внукова // Профилактическая медицина. 2022. Т. 25, № 7. С. 7–15. <https://doi.org/10.17116/profmed2022250717>
12. Breast cancer detected with screening US: reasons for nondetection at mammography / M. S. Bae, W. K. Moon, J. M. Chang, H. R. Koo, W. H. Kim, N. Cho, A. Yi, B. L. Yun, S. H. Lee, M. Y. Kim, E. B. Ryu, M. Seo // Radiology. 2014. Vol. 270, N 2. P. 369–377.
13. Hovda T., Larsen M., Romundstad L., Sahlberg K. K., Hofvind S. Breast cancer missed at screening; hindsight or mistakes? // Eur. J. Radiol. 2023. N 165. P. 110913. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.110913>
14. Ekpo E. U., Alakhras M., Brennan P. Errors in Mammography Cannot be Solved Through Technology Alone // Asian. Pac. J. Cancer. Prev. 2018. Vol. 19, N 2. P. 291–301. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2018.19.2.291>
15. Evans K. K., Birdwell R. L., Wolfe J. M. If you don't find it often, you often don't find it: why some cancers are missed in breast cancer screening // PLoS One. 2013. Vol. 8, N 5. P. e64366.
16. Screen-detected and interval breast cancer after concordant and discordant interpretations in a population based screening program using independent double reading / M. A. Martiniussen, S. Sagstad, M. Larsen, A. S. F. Larsen, T. Hovda, C. I. Lee, S. Hofvind // Eur. Radiol. 2022. Vol. 32, N 9. P. 5974–5985. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08711-9>
17. Analysis of mammographic diagnostic errors in breast clinic / V. Palazzetti, F. Guidi, L. Ottaviani, G. Valeri, S. Baldassarre, G. M. Giuseppetti // Radiol. Med. 2016. Vol. 121, N 11. P. 828–833. <https://doi.org/10.1007/s11547-016-0655-0>

References

1. Kaprin A.D. (eds.) Malignant neoplasms in Russia in 2022 (morbidity and mortality). Moscow: MNIOI im. P.A. Gercena – filial FGBU «NMIC radiologii» Minzdrava Rossii; 2023. 275 p. (In Russ.)
2. Beljaev A.M. (eds.) Methodological recommendations for implementing a population-based screening program for malignant neoplasms of the breast among the female population. (In Russ.) Available at: <http://onkokms.ru/images/doc/vracham/popsk.pdf?ysclid=m165517nps854446616> (accessed 11.06.2024).
3. Lomakov S.Ju. Volumes of mammographic studies in modern conditions of providing preventive measures. *Profilakticheskaya meditsina = Russian Journal of Preventive Medicine*. 2020;23(4):41–44. (In Russ.)
4. Golubev N.A., Ogryzko E.V., Tyurina E.M., Shelepova E.A., Shelekhov P.V. Features of the development of the radiation diagnostics service in the Russian Federation for 2014–2019. *Sovremennye problemy zdavookhraneniya i meditsinskoi statistiki = Modern Problems of Healthcare and Medical Statistics*. 2021;(2):356–376. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2312-2935-2021-2-356-376>

5. Shelekhov P.V. Personnel situation in radiative diagnostics. *Sovremennye problemy zdavookhraneniya i meditsinskoj statistiki* = *Modern Problems of Healthcare and Medical Statistics*. 2019;(1):265–275. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2312-2935-2019-10018>
6. Michalopoulou E., Clauser P., Gilbert F.J., Pijnappel R.M., Mann R.M., Baltzer P.A.T., Chen Y., Fallenberg E.M. A survey by the European Society of Breast Imaging on radiologists' preferences regarding quality assurance measures of image interpretation in screening and diagnostic mammography. *Eur. Radiol.* 2023;33(11):8103–8111. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09973-7>
7. Vasilev Yu.A., Tyrov I.A., Vladzimirskyy A.V., Arzamasov K.M., Shulkin I.M., Kozhikhina D.D., Pestrenin L.D. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):93–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/DD321423>
8. Vasiliev Y.A., Vladzimirsky A.V., Arzamasov K.M., Shulkin I.M., Aksenova L.E., Pestrenin L.D., Semenov S.S., Bondarchuk D.V., Smirnov I.V. The first 10,000 mammography exams performed as part of the «description and interpretation of mammography data using artificial intelligence» service. *Menedzher zdavookhraneniya* = *Manager Zdravookhraneniya*. 2023;(8):54–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2023-8-54-67>
9. Basic recommendations for the operation of artificial intelligence services for radiation diagnostics: methodological recommendations No 54. Moscow: Nauchno-prakticheskij klinicheskij centr diagnostiki i telemeditsinskih tekhnologij Departamenta zdavookhraneniya goroda Moskvy; 2022. 68 p. (In Russ.)
10. Bossuyt P.M., Reitsma J.B., Bruns D.E., Gatsonis C.A., Glasziou P.P., Irwig L., Lijmer J.G., Moher D., Rennie D., de Vet H.C., Kressel H.Y., Rifai N., Golub R.M., Altman D.G., Hooft L., Korevaar D.A., Cohen J.F. For the STARD Group. STARD 2015: An Updated List of Essential Items for Reporting Diagnostic Accuracy Studies. *Radiology*. 2015;(277):826–832. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151516>
11. Vladzimirskyy A.V., Kudryavtsev N.D., Kozhikhina D.D., Shulkin I.M., Morozov S.P., Ledikhova N.V., Klyashtorniy V.G., Goncharova I.V., Novikov A.V., Vnuкова O.M. Effectiveness of using artificial intelligence technologies for dual descriptions of the results of preventive lung examinations. *Profilakticheskaya Meditsina* = *Preventative Medicine*. 2022;25(7):7–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/profmed2022250717>
12. Bae M.S., Moon W.K., Chang J.M., Koo H.R., Kim W.H., Cho N., Yi A., Yun B.L., Lee S.H., Kim M.Y., Ryu E.B., Seo M. Breast cancer detected with screening US: reasons for nondetection at mammography. *Radiology*. 2014;270(2):369–377.
13. Hovda T., Larsen M., Romundstad L., Sahlberg K.K., Hofvind S. Breast cancer missed at screening; hindsight or mistakes? *Eur. J. Radiol.* 2023;(165):110913. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.110913>
14. Ekpo E.U., Alakhras M., Brennan P. Errors in Mammography Cannot be Solved Through Technology Alone. *Asian. Pac J. Cancer. Prev.* 2018;19(2):291–301. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2018.19.2.291>

15. Evans K.K., Birdwell R.L., Wolfe J.M. If you don't find it often, you often don't find it: why some cancers are missed in breast cancer screening. *PLoS One*. 2013;8(5):e64366.

16. Martiniussen M.A., Sagstad S., Larsen M., Larsen A.S.F., Hovda T., Lee C.I., Hofvind S. Screen-detected and interval breast cancer after concordant and discordant interpretations in a population based screening program using independent double reading. *Eur. Radiol.* 2022;32(9):5974–5985. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08711-9>

17. Palazzetti V., Guidi F., Ottaviani L., Valeri G., Baldassarre S., Giuseppetti G.M. Analysis of mammographic diagnostic errors in breast clinic. *Radiol Med.* 2016;121(11):828–833. <https://doi.org/10.1007/s11547-016-0655-0>

Информация об авторах / Information about the Authors

Васильев Юрий Александрович, кандидат медицинских наук, директор, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru, SPIN: 4458-5608, ORCID: 0000-0002-5283-5961

Арзамасов Кирилл Михайлович, кандидат медицинских наук, руководитель отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru, SPIN: 3160-8062, ORCID: 0000-0001-7786-0349

Владимирский Антон Вячеславович, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru, SPIN: 3602-7120, ORCID: 0000-0002-2990-7736

Yuriy A. Vasilev, Candidate of Sciences (Medical), Director, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru, SPIN: 4458-5608, ORCID: 0000-0002-5283-5961

Kirill M. Arzamasov, Candidate of Sciences (Medical), Head of the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation, e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru, SPIN: 3160-8062, ORCID: 0000-0001-7786-0349

Anton V. Vladzimirskyy, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru, SPIN: 3602-7120, ORCID: 0000-0002-2990-7736

Колсанов Александр Владимирович, доктор медицинских наук, профессор Российской академии наук, профессор, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация;
e-mail info@samsmu.ru,
SPIN: 2028-6609,
ORCID: 0000-0002-4144-7090

Alexander V. Kolsanov, Doctor of Sciences (Medical), Professor Russian Academy of Sciences, Professor, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation,
e-mail info@samsmu.ru,
SPIN: 2028-6609,
ORCID: 0000-0002-4144-7090

Шулькин Игорь Михайлович, заместитель директора по медицинской части, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Российская Федерация
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru,
SPIN: 5266-0618,
ORCID: 0000-0002-7613-5273

Igor M. Shulkin, Deputy Director for Medical Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation,
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru,
SPIN: 5266-0618,
ORCID: 0000-0002-7613-5273

Бобровская Татьяна Михайловна, младший научный сотрудник отдела инновационных технологий, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru,
SPIN: 3400-8575,
ORCID: 0000-0002-2746-7554

Tatiana M. Bobrovskaya, Research Assistant of the Department of Innovative Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation,
e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru,
SPIN: 3400-8575,
ORCID: 0000-0002-2746-7554

Пестренин Лев Дмитриевич, младший научный сотрудник отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru,
SPIN: 7193-7706,
ORCID: 0000-0002-1786-432

Lev D. Pestrenin, Research Assistant of the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation,
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru,
SPIN: 7193-7706,
ORCID: 0000-0002-1786-4329