

Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность проведения двойного чтения маммографических исследований

© Н.Д. КУДРЯВЦЕВ, Д.Д. КОЖИХИНА, И.В. ГОНЧАРОВА, И.М. ШУЛЬКИН, Д.Е. ШАРОВА, К.М. АРЗАМАСОВ, А.В. ВЛАДЗИМИРСКИЙ

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

РЕЗЮМЕ

Маммография — «золотой стандарт» ранней диагностики злокачественных новообразований молочной железы. Для обеспечения высокого качества проведения профилактических исследований и выявления дополнительных случаев злокачественных новообразований рекомендуется применять независимое двойное чтение маммограмм двумя разными врачами-рентгенологами. Однако такой подход повышает рабочую нагрузку и увеличивает длительность получения результатов исследований.

Цель исследования. Оценить влияние применения алгоритма искусственного интеллекта (ИИ) на длительность проведения двойного чтения скрининговых маммографических исследований в медицинских организациях, оказывающих первичную медико-санитарную помощь.

Материал и методы. Исследование проведено на базе Московского референс-центра лучевой диагностики (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», telemedai.ru). Просмотр маммограмм и подготовка описаний исследований выполнены в Едином радиологическом информационном сервисе Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы. В исследовании приняли участие 12 врачей-рентгенологов, специализирующихся на описании маммографических исследований. Для автоматического анализа исследований использовано отечественное программное обеспечение. В рамках исследования реализовано два сценария: I — двойное чтение врачами-рентгенологами, II — первичное чтение алгоритмом ИИ, второе чтение врачом-рентгенологом.

Результаты. По I сценарию двойное чтение проведено для 480 маммографических исследований, по II — для 510. Для I сценария средняя длительность проведения двойного чтения составила 34:12:18 (ЧЧ:ММ:СС), для II — 11:28:58. Применение алгоритма ИИ позволило сократить длительность проведения двойного чтения на 66,4% ($p < 0,0001$).

Заключение. Применение алгоритма искусственного интеллекта при анализе профилактических маммографических исследований позволило сократить длительность проведения двойного чтения и рабочую нагрузку на врачей-рентгенологов.

Ключевые слова: скрининг, профилактика, маммография, искусственный интеллект, хронометражное исследование, рак молочной железы.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кудрявцев Н.Д. — <https://orcid.org/0000-0003-4203-0630>

Кожихина Д.Д. — <https://orcid.org/0000-0001-7690-8427>

Гончарова И.В. — <https://orcid.org/0000-0003-3662-8601>

Шулькин И.М. — <https://orcid.org/0000-0002-7613-5273>

Шарова Д.Е. — <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>

Арзамасов К.М. — <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

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

Автор, ответственный за переписку: Кудрявцев Н.Д. — e-mail: kudryavtsevnd@zdrav.mos.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Кудрявцев Н.Д., Кожихина Д.Д., Гончарова И.В., Шулькин И.М., Шарова Д.Е., Арзамасов К.М., Владзимирский А.В. Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность проведения двойного чтения маммографических исследований. *Профилактическая медицина*. 2024;27(5):32–37. <https://doi.org/10.17116/profmed20242705132>

The impact of artificial intelligence on double reading of mammograms

© N.D. KUDRYAVTSEV, D.D. KOZHIKHINA, I.V. GONCHAROVA, I.M. SHULKIN, D.E. SHAROVA, K.M. ARZAMASOV, A.V. VLADZYMIRSKYY

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

ABSTRACT

Mammography is a gold standard for early diagnosis of breast tumors. Independent double-reading of mammograms by two different radiologists is recommended to use in order to provide a high quality of preventive examination and to detect additional cases of malignant neoplasms. Nevertheless, this approach increases the work load and time of mammography results receiving.

Objective. To assess the impact of artificial intelligence (AI) algorithm on the duration of double reading of mammograms.

Material and methods. The study was conducted at the Moscow Reference Centre for Radiology Diagnostics (Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, telemedai.ru). Mammograms were reviewed and radiology reports were prepared in the Unified Radiological Information Service of the Unified Medical Information and Analytical System in Moscow. Twelve radiologists who specialize in mammogram descriptions participated in the study. Russian-made software was used for automatic analysis of mammograms. Two scenarios were implemented as a part of the study: the first — double-reading by radiologists, the second — first reading by AI algorithm, second reading by radiologist.

Results. In the first scenario, a double reading was performed for 480 mammograms, in the second one — 510 mammograms. The average duration of the double-reading for the first scenario was 34:12:18 (hh:mm:ss), for the second one — 11:28:58. Application of AI algorithm allowed to reduce the duration of double-reading by 66.4% ($p < 0.0001$).

Conclusion. The use of artificial intelligence algorithm in analysis of preventive mammography examinations allowed to reduce the duration of double-reading and work load on radiologists.

Keywords: screening, prevention, mammography, artificial intelligence, time study, breast cancer.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Kudryavtsev N.D. — <https://orcid.org/0000-0003-4203-0630>

Kozhikhina D.D. — <https://orcid.org/0000-0001-7690-8427>

Goncharova I.V. — <https://orcid.org/0000-0003-3662-8601>

Shulkin I.M. — <https://orcid.org/0000-0002-7613-5273>

Sharova D.E. — <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>

Arzamasov K.M. — <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

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

Corresponding author: Kudryavtsev N.D. — e-mail: kudryavtsevnd@zdrav.mos.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Kudryavtsev ND, Kozhikhina DD, Goncharova IV, Shulkin IM, Sharova DE, Arzamasov KM, Vladymirskyy AV. The impact of artificial intelligence on double reading of mammograms. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2024;27(5):32–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed20242705132>

Введение

Рак молочной железы является самым распространенным онкологическим заболеванием у женщин и главной причиной летальности женщин от онкологических заболеваний [1, 2]. Одним из основных методов снижения смертности является выявление злокачественных новообразований молочной железы на ранних стадиях. В связи с этим во многих странах мира реализуются программы скрининга с помощью маммографии [3, 4].

В рамках приказа Минздрава России от 13.03.19 № 124н [5] и в соответствии с методическими рекомендациями Минздрава России и Департамента здравоохранения Москвы [6, 7] с целью повышения точности выявления злокачественных новообразований молочной железы необходимо применять двойное чтение при анализе и интерпретации результатов маммографических исследований. Двойное чтение эффективно и увеличивает количество выявленных случаев рака молочной железы на ранних этапах, однако повышается рабочая нагрузка на врачей-рентгенологов [8].

Для оптимизации проведения двойного чтения применяются методы автоматического анализа маммографических изображений с помощью САД-систем и алгоритмов компьютерного зрения [9]. Однако, по результатам крупного исследования, проведенного в США, САД-системы не позволили улучшить чувствительность и специфичность выявления злокачественных новообразований молочной железы при сравнении с двойным чтением врачами-рентгенологами [10]. В исследовании С.П. Морозова и соавт. продемонстрировано, что применение алгоритма искусственного интеллекта (ИИ) позволяет сократить длительность описания маммографических исследований на 15–50% [11].

Алгоритмы компьютерного зрения все чаще применяются в лучевой диагностике, в том числе в маммографии [12–15]. Популяризация среди женщин скрининга ра-

ка молочной железы с помощью маммографии и ежегодный рост количества маммографических исследований приводят к повышению нагрузки на систему здравоохранения. В условиях кадрового дефицита требуется поиск новых решений и технологий, позволяющих оптимизировать ресурсы и рабочую нагрузку на врачей-рентгенологов.

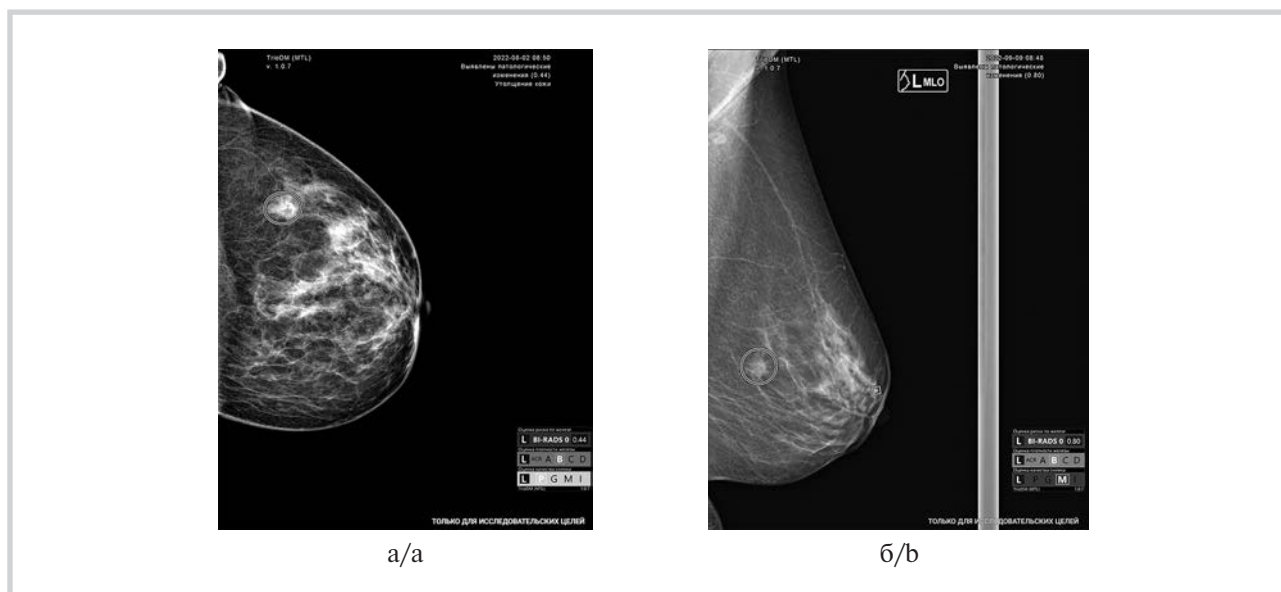
Цель исследования — оценить влияние применения алгоритма ИИ на длительность проведения двойного чтения скрининговых маммографических исследований в медицинских организациях, оказывающих первичную медико-санитарную помощь.

Материал и методы

Ретроспективное исследование проведено на базе Московского референс-центра лучевой диагностики (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», telemedai.ru) в рамках Московского эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы (mosmed.ai) (далее — Эксперимент) [16].

В исследовании приняли участие 12 врачей-рентгенологов, специализирующихся на описании маммографических исследований. Просмотр маммограмм и подготовка описаний исследований проведены в Едином радиологическом информационном сервисе Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС) [17].

Исследовались два сценария двойного чтения маммограмм. В I сценарии двойное чтение проводилось врачами-рентгенологами, во II — первое чтение проводилось алгоритмом компьютерного зрения, основанном на технологии ИИ, а второе — врачом-рентгенологом. Для I сценария анализировались данные из ЕРИС ЕМИАС за период февраль—март 2021 г., для II — июнь—август 2023 г.



Примеры результатов работы сервиса.

а — маммограмма левой молочной железы в краниокаудальной проекции с оконтуренным участком асимметрии плотности; б — маммограмма левой молочной железы в косой медиолатеральной проекции с оконтуренными образованием и кальцинатом.

Examples of service work results

a — mammogram of the left breast in cranio-caudal projection with segmented area of density asymmetry; b — mammogram of left breast in oblique medio-lateral projection with segmented mass and calcified lesion.

Для хронометражного исследования проведена оценка длительности подготовки протоколов маммографических исследований. В ЕРИС ЕМИАС фиксируются дата и время следующих событий: проведение маммографического исследования, начало работы врача-рентгенолога с диагностическим исследованием, визирование протокола исследования; отправка исследования алгоритму ИИ, полученные результаты работы от алгоритма ИИ.

В обоих сценариях для определения длительности проведения двойного чтения использовалась арифметическая разница между временем визирования последнего протокола и временем загрузки маммографического исследования в ЕРИС ЕМИАС.

Критерии включения. Для обоих сценариев: профилактические маммографические исследования женщин, проведенные в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы, оказывающих первичную медико-санитарную помощь, возраст от 35 до 95 лет. Для II сценария: профилактические маммографические исследования, проанализированные алгоритмом ИИ.

Критерии исключения. Для обоих сценариев: профилактические маммографические исследования, длительность описания которых составляла менее 10 с или превышала 1 ч. Исследования, длительность двойного чтения которых составила более 7 сут.

Программное обеспечение на основе технологий ИИ. Для автоматического анализа маммографических изображений использовано отечественное программное обеспечение. Программное обеспечение анализировало диагностические изображения и указывало вероятность наличия признаков злокачественных новообразований молочной железы, классифицировало находки по шкале BI-RADS, маркировало подозрительные участки на изображениях. При оценке точности работы программного обеспечения,

проведенной экспертами ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» на размеченном наборе данных, получены следующие результаты: площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,90 (0,83—0,95), чувствительность — 0,74 (0,62—0,86), специфичность — 0,94 (0,87—1,0), точность — 0,84 (0,77—0,91) [18]. Пример работы программного обеспечения представлен на рисунке.

Методы статистического анализа. Для расчета необходимого объема выборки использовался метод В.И. Паниотто. Поскольку объем генеральной совокупности был более 100 000 исследований, минимальный объем выборки составил 398 исследований. Обработка полученных данных выполнена с использованием методов описательной статистики с указанием следующих характеристик: количество непропущенных значений (N), минимум (Min), максимум (Max), медиана (Med), среднее арифметическое значение ($Mean$), стандартное отклонение (SD), первый и третий квартили (Q_1 , Q_3). Для анализа данных на нормальность распределения использовался тест Колмагорова—Смирнова. Учитывая отклонение от нормального распределения хронометражных данных, межгрупповое сравнение выполнено с помощью U -критерия Манна—Уитни с уровнем статистической значимости 0,05. Статистическая обработка данных проведена с помощью CHRONO-ANALYTICS FOR RADIOLOGY V1 (RU 2023662432) [19].

Результаты

Для сценария I (чтение двумя врачами-рентгенологами) случайным образом включено 480 маммографических исследований, для сценария II (ИИ и врач-рентгенолог) — 510. Средний возраст женщин в сценарии I составил $59,6 \pm 11,2$ года (min 35 лет, max 89 лет), в сценарии II — $60,2 \pm 10,6$ года (min 35 лет, max 92 го-

Таблица 1. Распределение исследований по категориям BI-RADS
Table 1. The distribution of examinations by BI-RADS categories

Категория BI-RADS	Сценарий I, n (%)	Сценарий II, n (%)
BI-RADS 1	87 (18,13)	81 (15,88)
BI-RADS 2	352 (73,33)	396 (77,65)
BI-RADS 3	29 (6,04)	27 (5,29)
BI-RADS 4	11 (2,29)	5 (0,98)
BI-RADS 5	1 (0,21)	1 (0,20)
<i>p</i> (<i>U</i> -test)	0,914	

Таблица 2. Распределение исследований по типам плотности молочных желез (ACR)
Table 2. The distribution of examinations by breast density (ACR)

Тип плотности	Сценарий I, n (%)	Сценарий II, n (%)
A	61 (12,7)	57 (11,2)
B	317 (66,0)	342 (67,1)
C	76 (15,8)	81 (15,9)
D	26 (5,4)	30 (5,9)
<i>p</i> (<i>U</i> -test)	0,574	

Таблица 3. Описательная статистика данных о длительности подготовки протоколов маммографических исследований для обоих сценариев двойного чтения (с)
Table 3. Descriptive statistics of data on the duration of mammography study protocol preparation for double reading scenarios (с)

Параметр	Сценарий I		Сценарий II	
	рентгенолог №1	рентгенолог №2	ИИ	рентгенолог
<i>N</i> , иссл.	480	480	510	510
Min, с	11	12	41	12
Max, с	3291	5523	2806	2505
<i>Mean</i> , с	602	284	132	250
<i>SD</i> , с	506	416	227	341
Med, с	444	160	104	156
<i>Q</i> ₁ , с	268	54	67	77
<i>Q</i> ₃ , с	785	382	127	261
<i>p</i> (<i>U</i> -test)	<0,0001		<0,0001	

да). Распределение исследований по классификациям BI-RADS и типам плотности молочных желез ACR представлено в табл. 1 и 2.

В сценарии I при первичном чтении средняя длительность подготовки протокола исследования составила 0:10:02 (здесь и далее время в формате ЧЧ:ММ:СС), при втором чтении — 0:04:44 (табл. 3). В среднем первое описание проведено через 10:43:28 после проведения маммографического исследования. Следует отметить, что средняя длительность ожидания между первым и вторым описанием составила 23:18:05. Таким образом, средняя длительность проведения двойного чтения маммографических исследований, в котором приняли участие 2 врача-рентгенолога, составила 34:12:18 (табл. 4).

В сценарии II средняя длительность автоматического анализа маммографических исследований с помощью алгоритма ИИ составила 0:02:12. Средняя длительность доступности результата ИИ после проведения маммографического исследования составила 0:05:44. Причем большая часть этого времени затрачивалась на передачу и получение диагностических изображений алгоритмом ИИ по сети Интернет, а не на анализ изображений. Средняя длительность подготовки протокола врачом-рентгенологом в сценарии II составила 0:04:10 (см. табл. 3). Таким образом, средняя длительность проведения двойного чтения с применением технологии ИИ составила 11:28:58 (см. табл. 4).

Средняя продолжительность проведения двойного чтения маммографических исследований при использовании технологий ИИ была меньше на 66,4%, различия оказались статистически значимы (*p*<0,0001).

При анализе протоколов врачей и результатов работы алгоритма ИИ в 371 (72,9%) случае выявлено согласие врачей-рентгенологов с заключениями алгоритма ИИ.

Таблица 4. Описательная статистика данных о длительности проведения двойного чтения для обоих сценариев (с)
Table 4. Descriptive statistics of data on double-reading duration for both scenarios (с)

Параметр	Сценарий I (врач + врач)	Сценарий II (ИИ + врач)
<i>N</i> , иссл.	480	510
Min, с	537	172
Max, с	604 778	433 214
<i>Mean</i> , с	123 139	41 338
<i>SD</i> , с	141 720	69 094
Med, с	73 234	6 802
<i>Q</i> ₁ , с	20 490	884
<i>Q</i> ₃ , с	182 442	66 134
<i>p</i> (<i>U</i> -test)	<0,0001	

Обсуждение

Результаты проведенного исследования продемонстрировали, что применение алгоритма ИИ как инструмента первого чтения снижает длительность проведения двойного чтения маммографических исследований. Следует отметить, что исследование проводилось в условиях работы референс-центра лучевой диагностики, где отсутствует проблема кадрового дефицита врачей-рентгенологов. Несмотря на это, длительность двойного чтения 2 врачами-рентгенологами составила более 34 ч. Таким образом, применение ИИ при реализации двойного чтения профилактических исследований может снизить рабочую нагрузку на врачей-рентгенологов, оптимизировать рабочие процессы в отделении лучевой диагностики и ускорить подготовку результатов маммографических исследований.

Обращает на себя внимание сокращение длительности подготовки протокола маммографического исследования врачом при использовании ИИ с 0:10:02 до 0:04:10 ($p < 0,0001$). Однако требуется дополнительное изучение данного результата. При сравнении длительности подготовки протоколов маммографических исследований между врачом-рентгенологом №2 (сценарий I) и врачом-рентгенологом (сценарий II) статистическая значимость не выявлена ($p = 0,68$). В нашем предыдущем исследовании продемонстрировано, что применение ИИ при двойном чтении флюорограмм увеличивало длительность подготовки протокола диагностического исследования на 22,1% [13]. Это можно объяснить тем, что врач изучает результаты работы алгоритма ИИ (дополнительные изображения и заключение, созданные алгоритмом). Однако в исследовании С.П. Морозова и соавт. продемонстрировано, что применение алгоритма ИИ позволяет сократить длительность подготовки протокола на 55,3% при интерпретации результатов КТ органов грудной клетки у пациентов с подозрением на COVID-19 [14]. По нашим наблюдениям, применение алгоритмов ИИ способствует сокращению длительности подготовки протокола для исследований, в которых необходимо проводить измерения анатомических структур и патологических образований, например объем внутри-мозгового кровоизлияния, диаметры магистральных сосудов, размеры и объем образований.

В ряде исследований также показано, что применение алгоритма ИИ сокращает длительность двойного чтения маммографических исследований на 17,0–70,0% [20–23]. В исследовании А. Lauritzen и соавт. проводилась оценка не только длительности проведения двойного чтения, но и влияния алгоритма ИИ на чувствительность и специфичность выявления злокачественных новообразований молочной железы. Помимо сокращения длительности двойного чтения, применение алгоритма ИИ позволило незначительно повысить специфичность — с 98,1% при двойном чтении врачами до 98,6% при использовании алгоритма ИИ. Однако применение ИИ незначительно снизило чувствительность — с 70,8 до 69,7% [23]. В исследовании S. McKinney и соавт. показано снижение нагрузки на 88,0%. Таким образом, автоматизация двойных описаний маммографии статистически значимо повысила производительность скрининга, оптимизировав загруженность врачей [24].

Влияние алгоритмов ИИ на точность, чувствительность и специфичность выявления злокачественных новообразований молочной железы должно быть изучено в дальнейшем. В исследовании S. McKinney и соавт. также показано, что применение ИИ позволяет уменьшить количество ложноположительных и ложноотрицательных случаев выявления злокачественных новообразований молочной железы на 5,7 и 9,4% соответственно [24].

В ряде исследований показано, что применение алгоритмов ИИ может сократить количество ложноположи-

тельных случаев подозрения на злокачественные новообразования молочной железы, излишних интервенционных вмешательств и финансовые издержки системы здравоохранения [10, 25].

По нашему мнению, применение двух разных алгоритмов ИИ, обладающих высокой чувствительностью для определения отсутствия патологических изменений на маммограммах, может значительно сократить и оптимизировать нагрузку на врачей-рентгенологов при проведении скрининга, при этом сфокусировать внимание врачей на маммографических исследованиях, при которых выявлены патологические изменения.

Ограничения исследования. Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Функциональные особенности ЕРИС ЕМИАС предполагают последовательное описание исследований, в обоих сценариях врачам были доступны результаты первого чтения. В ходе исследования не оценивалось влияние алгоритма ИИ на чувствительность и специфичность выявления злокачественных новообразований молочной железы врачом-рентгенологом. В ходе исследования в сценарии I не оценивалась степень согласия между 2 врачами-рентгенологами.

Заключение

Применение алгоритма ИИ позволило сократить длительность проведения двойного чтения маммографических исследований при скрининге злокачественных новообразований молочной железы на 66,4% и оптимизировать рабочий процесс врачей-рентгенологов.

Данная публикация подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научные методологии устойчивого развития технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике» (№ ЕГИСУ: № 123031500004-5) в соответствии с Приказом от 21.12.22 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.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования — А.В. Владимирский, Н.Д. Кудрявцев; сбор и обработка материала — Д.Д. Кожихина, И.В. Гончарова, К.М. Арзамасов; статистическая обработка — Н.Д. Кудрявцев; написание текста — Н.Д. Кудрявцев, И.В. Гончарова; редактирование — И.М. Шулькин, А.В. Владимирский, Д.Е. Шарова

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. World Health Organization. *Breast Cancer*. Published 2021. Accessed March 20, 2024. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer>
2. Fitzmaurice C, Allen C, Barber RM, et al. Global, Regional, and National Cancer Incidence, Mortality, Years of Life Lost, Years Lived With Disability, and Disability-Adjusted Life-years for 32 Cancer Groups, 1990 to 2015. *JAMA Oncology*. 2017;3(4):524. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2016.5688>
3. Giordano L, Von Karsa L, Tomatis M, et al. Mammographic Screening Programmes in Europe: Organization, Coverage and Participation. *Journal of Medical Screening*. 2012;19(1 suppl):72–82. <https://doi.org/10.1258/jms.2012.012085>

4. Smith RA, Andrews KS, Brooks D, et al. Cancer screening in the United States, 2018: A review of current American Cancer Society guidelines and current issues in cancer screening. *CA: a Cancer Journal for Clinicians*. 2018; 68(4):297–316. <https://doi.org/10.3322/caac.21446>
5. Приказ Министерства Здравоохранения Российской Федерации от 13.03.2019 №124н «Об Утверждении Порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения». Ссылка активна на 20.03.24. Prikaz Ministerstva Zdravooxraneniya Rossijskoj Federacii ot 13.03.2019 №124n «Ob Uverzhdenii Poryadka provedeniya profilakticheskogo medicinskogo osmotra i dispanserizacii opredelennyx grupp vzroslogo naseleniya». Accessed March 20, 2024. (In Russ.). <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=383371>
6. Методические рекомендации по выполнению программы популяционного скрининга злокачественных новообразований молочной железы среди женского населения. Министерство здравоохранения Российской Федерации. 2019. Ссылка активна на 20.03.24. Metodicheskie rekomendacii po vypolneniyu programmy 'populyacionnogo skринinga zlokachestvennyx novoobrazovaniy molochnoj zhelezy' sredi zhenskogo naseleniya. Ministerstvo zdravooxraneniya Rossijskoj Federacii. 2019. Accessed March 20, 2024. (In Russ.). <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=383371>
7. Морозов С.П., Ветшева Н.Н., Диденко В.В. и др. Организация программы популяционного скрининга злокачественных новообразований молочной железы среди женского населения. Методические рекомендации. 2020. Ссылка активна на 20.03.24. Morozov SP, Vetsheva NN, Didenko VV, et al. Organizaciya programmy 'populyacionnogo skринinga zlokachestvennyx novoobrazovaniy molochnoj zhelezy' sredi zhenskogo naseleniya. Metodicheskie rekomendacii. 2020. Accessed March 20, 2024. (In Russ.). <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/organizaciya-programmy-populyacionnogo-skrинinga-zlokachestvennyh-novoobrazovaniy-molochnoj-zhelezy-sredi-zhenskogo-naseleniya?ysclid=lu80vtdwpb331278525>
8. Brown J, Bryan S, Warren R. Mammography screening: an incremental cost effectiveness analysis of double versus single reading of mammograms. *BMJ*. 1996;312(7034):809–812. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7034.809>
9. Schünemann HJ, Lerda D, Quinn C, et al. Breast Cancer Screening and Diagnosis: A Synopsis of the European Breast Guidelines. *Annals of Internal Medicine*. 2020;172(1):46. <https://doi.org/10.7326/M19-2125>
10. Yala A, Schuster T, Miles R, Barzilay R, Lehman C. A Deep Learning Model to Triage Screening Mammograms: A Simulation Study. *Radiology*. 2019; 293(1):38–46. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182908>
11. Морозов С.П., Владимирский А.В., Шулькин И.М. и др. Целесообразность применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике (результаты первого года Московского эксперимента по компьютерному зрению). *Врач и информационные технологии*. 2022;(1):12–29. Morozov SP, Vladzmyrskyy AV, Shulkin IM, et al. Feasibility of using artificial intelligence in radiology (first year of Moscow experiment on computer vision). *Vrach i informacionnyye tehnologii*. 2022;(1):12–29. (In Russ.). https://doi.org/10.25881/18110193_2022_1_12
12. Морозов С.П., Владимирский А.В., Ледихова Н.В. и др. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов. *Врач и информационные технологии*. 2020;(4):14–23. Morozov SP, Vladzmyrskyy AV, Ledikhova NV, et al. Moscow experiment on computer vision in radiology: involvement and participation of radiologists. *Vrach i informacionnyye tehnologii*. 2020;(4):14–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-4-14-23>
13. Владимирский А.В., Кудрявцев Н.Д., Кожихина Д.Д. и др. Эффективность применения технологий искусственного интеллекта для двойных описаний результатов профилактических исследований легких. *Профилактическая медицина*. 2022;25(7):7–15. Vladzmyrskyy AV, Kudryatsev ND, Kozhikhina DD, et al. Effectiveness of using artificial intelligence technologies for dual descriptions of the results of preventive lung examinations. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(7):7–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed2022250717>
14. Морозов С.П., Гаврилов А.Г., Архипов И.В. и др. Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность описаний результатов компьютерной томографии пациентов с COVID-19 в стационарном звене здравоохранения. *Профилактическая медицина*. 2022;25(1):14–20. Morozov SP, Gavrilov AV, Arkhipov IV, et al. Effect of artificial intelligence technologies on the CT scan interpreting time in COVID-19 patients in inpatient setting. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(1):14–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed20222501114>
15. Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владимирский А.В. и др. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):93–104. Vasilev YA, Tyrov IA, Vladzmyrskyy AV, et al. 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>
16. Морозов С.П., Владимирский А.В., Ветшева Н.Н. и др. Референс-центр лучевой диагностики: обоснование и концепция. *Менеджмент в здравоохранении*. 2019;(8):25–34. Morozov SP, Vladzmyrskyy AV, Vetsheva NN, et al. Reference center of radiology: justification and concept. *Menedzhment v zdravooxranenii*. 2019;(8):25–34. (In Russ.).
17. ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». Единый радиологический информационный сервис. 2020. Ссылка активна на 20.03.24. GBUZ «NPKCz DiT DZM». Edinyj radiologicheskij informacionnyj servis. 2020. Accessed March 20, 2024. (In Russ.). https://tele-med.ai/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020
18. Morozov SP, Vladzmyrskyy AV, Klyashtornyy VG, et al. *Clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology)*. 2019. Series Best Practices in Medical Imaging. Issue 57. Accessed March 20, 2024. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1908.00381>
19. Кудрявцев Н.Д., Омельченко А.В., Шарова Д.Е., Васильев Ю.А. *Chrono-analytics for radiology VI*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023662432. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07.06.2023. Ссылка активна на 20.03.24. Kudryatsev ND, Omel'chenko AV, Sharova DE, Vasil'ev YuA. *Chrono-analytics for radiology VI*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya E'VM №2023662432. Data gosudarstvennoj registracii v Reestre programm dlya E'VM 07.06.2023. Accessed March 20, 2024. (In Russ.). <https://telemedai.ru/documents/svidetelstvo-o-gosreg-evm-no-2023662432-1?ysclid=lu82ivge7h972317594>
20. Raya-Povedano JL, Romero-Martín S, Elías-Cabot E, et al. AI-based Strategies to Reduce Workload in Breast Cancer Screening with Mammography and Tomosynthesis: A Retrospective Evaluation. *Radiology*. 2021;300(1):57–65. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021203555>
21. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, et al. Can we reduce the workload of mammographic screening by automatic identification of normal exams with artificial intelligence? A feasibility study. *European Radiology*. 2019;29(9):4825–4832. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06186-9>
22. Dembrower K, Wählin E, Liu Y, et al. Effect of artificial intelligence-based triaging of breast cancer screening mammograms on cancer detection and radiologist workload: a retrospective simulation study. *The Lancet. Digital Health*. 2020;2(9):e468–e474. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30185-0](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30185-0)
23. Lauritzen AD, Rodríguez-Ruiz A, von Euler-Chelpin MC, et al. Artificial Intelligence-based Mammography Screening Protocol for Breast Cancer: Outcome and Radiologist Workload. *Radiology*. 2022;304(1):41–49. <https://doi.org/10.1148/radiol.210948>
24. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*. 2020;577(7788):89–94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>
25. Ong MS, Mandl KD. National Expenditure For False-Positive Mammograms And Breast Cancer Overdiagnoses Estimated At \$4 Billion A Year. *Health Affairs (Project Hope)*. 2015;34(4):576–583. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2014.1087>

Поступила 28.11.2022

Received 28.11.2022

Принята к печати 18.01.2024

Accepted 18.01.2024