



© Ю.И. Комаров^{1,2}, А.М. Беляев², Н.Н. Хилько¹, А.И. Ускова¹, Д.А. Денисова¹,
Б.С. Каспаров^{1,2}, А.Е. Андрейченко¹, Ж.В. Хайлова^{3,4}, А.Д. Каприн^{3,5}, В.В. Омеляновский^{6,7,8}

Будущее популяционного скрининга и виртуальный скрининг онкологических заболеваний

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

⁵Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Российская Федерация

⁶Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

⁷Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко», Москва, Российская Федерация

⁸Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский финансовый институт Министерства финансов Российской Федерации», Москва, Российская Федерация

© Yuriy I. Komarov^{1,2}, Alexey M. Belyaev², Natalia N. Khilko¹, Arina I. Uskova¹, Daria A. Denisova¹,
Boris S. Kasparov^{1,2}, Anna E. Andreychenko¹, Zhanna V. Khailova^{3,4}, Andrey D. Kaprin^{3,5},
Vitaly V. Omelyanovsky^{6,7,8}

The Future of Population Screening and Virtual Cancer Screening

¹ITMO University, St. Petersburg, the Russian Federation

²N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg, the Russian Federation

³Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center of Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation

⁴Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation

⁵Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, the Russian Federation

⁶Federal State Budgetary Institution Center for Expertise and Quality Control of Medical Care of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation

⁷Federal State Budgetary Scientific Institution National Research Institute of Public Health named after N.A. Semashko, Moscow, the Russian Federation

⁸Federal State Budgetary Institution Research Financial Institute of the Ministry of Finance of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation

Онкологические заболевания остаются одной из ведущих причин заболеваемости и смертности в мире. Программы скрининга рака молочной железы, шейки матки и колоректального рака доказали свою эффективность в снижении смертности. Однако их успех часто ограничивается доступностью ресурсов, охватом целевой группы населения и способностью системы здравоохранения к лечению пациентов с ранними формами заболеваний. Организованный скрининг, опирающийся на четкие протоколы, стандартизированные интервалы и постоянный мониторинг, представляет собой эффективный подход, однако требует значительных организационных и финансовых усилий. С развитием цифровых технологий возникает новая парадигма — виртуальный скрининг. Эта концепция предполагает

Cancer remains one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide. Screening programs for breast, cervical and colorectal cancer have been shown to be effective in reducing mortality. However, their results are often limited by the availability of resources, coverage of the target population and the ability of the health system to help patients with early forms of the disease. While organized screening based on clear protocols, standardized intervals and continuous monitoring is an effective approach, it still requires significant organizational and financial efforts. As digital technologies advance, a new paradigm is emerging: virtual screening. This approach involves using data obtained outside of organized programs, such as instrumental diagnostics and laboratory tests, to identify risk groups and optimize screening strategies. Virtual

использование данных, полученных вне рамок организованных программ, таких как результаты инструментальной диагностики и лабораторных исследований для выявления групп риска и оптимизации стратегий скрининга. Виртуальный скрининг позволяет интегрировать разрозненные данные с помощью технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, обеспечивая более точную и персонализированную оценку рисков. Это открывает новые возможности для повышения эффективности и доступности скрининговых программ, особенно в условиях ограниченных ресурсов. Данная статья акцентирует внимание на важности организованного скрининга и потенциале виртуального скрининга как его дополнения. Обсуждаются ключевые вызовы традиционных программ и пути их преодоления с помощью современных технологий: внедрение искусственного интеллекта и анализа больших данных для повышения эффективности, улучшения прогнозов пациентов и снижения экономического бремени на систему здравоохранения.

Ключевые слова: виртуальный скрининг; онкоскрининг; эффективность скрининговых программ

Для цитирования: Комаров Ю.И., Беляев А.М., Хилько Н.Н., Ускова А.И., Денисова Д.А., Каспаров Б.С., Андрейченко А.Е., Хайлова Ж.В., Каприн А.Д., Омеляновский В.В. Будущее популяционного скрининга и виртуальный скрининг онкологических заболеваний. *Вопросы онкологии*. 2024; 70(6): 1005-1016. -DOI: 10.37469/0507-3758-2024-70-6-1005-1016

✉ Контакты: Юрий Игоревич Комаров, md.komarov@gmail.com

Введение

Онкологические заболевания представляют собой одну из ведущих причин заболеваемости и смертности во всем мире. В 2022 г. было зарегистрировано более 20 млн новых случаев рака и около 10 млн смертей от этого заболевания. Ожидается, что число случаев рака продолжит расти, что связано с увеличением продолжительности жизни, урбанизацией и распространением факторов риска, таких как курение, нездоровое питание и низкая физическая активность [1, 2].

Скрининг играет ключевую роль в борьбе с онкологическими заболеваниями, т. к. он позволяет выявлять рак на ранних, часто бессимптомных стадиях. На этом этапе лечение наиболее эффективно, что значительно повышает шансы на выздоровление и снижает смертность [3]. Например, раннее выявление рака молочной железы, шейки матки и колоректального рака с помощью скрининговых программ уже продемонстрировало свою эффективность в снижении смертности в развитых странах [4, 5, 6]. Скрининг не только улучшает прогноз для пациентов, но и снижает экономическое бремя для системы здравоохранения за счет уменьшения затрат на лечение поздних стадий рака [7].

Однако скрининг — это не только инструмент для раннего выявления заболеваний. Он также служит важным элементом профилактической медицины, способствуя повышению осведомленности населения о рисках рака и необходимости регулярного обследования. Участие

screening enables the integration of disparate data using machine learning and artificial intelligence technologies, providing more accurate and personalized risk assessment. It opens up new opportunities to improve the efficiency and accessibility of screening programs, especially in resource-limited settings. This article focuses on the importance of organized screening and the potential of virtual screening to complement it. The discussion will cover key challenges of traditional programs and ways to overcome them with the help of modern technologies, including the introduction of artificial intelligence and big data analytics to increase efficiency, improve patient prognosis and reduce the economic burden on the healthcare system.

Keywords: virtual screening; cancer screening; effectiveness of screening programs

For Citation: Yuriy I. Komarov, Alexey M. Belyaev, Natalia N. Khilko, Arina I. Uskova, Daria A. Denisova, Boris S. Kasparov, Anna E. Andreychenko, Zhanna V. Khailova, Andrey D. Kaprin, Vitaly V. Omelyanovsky. The future of population screening and virtual cancer screening. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2024; 70(6): 1005-1016. (In Rus).-DOI: 10.37469/0507-3758-2024-70-6-1005-1016

в скрининговых программах позволяет людям более ответственно относиться к своему здоровью, вовремя выявлять предраковые состояния и снижать вероятность развития заболевания [8].

Несмотря на доказанную эффективность, программы скрининга сталкиваются с рядом вызовов. Они включают в себя низкий охват населения, особенно в уязвимых группах, а также проблемы, связанные с ложноположительными и ложноотрицательными результатами, которые могут вызывать ненужный стресс у пациентов или, напротив, приводить к ошибкам диагностики. Кроме того, существует риск избыточной диагностики (гипердиагностики) и ненужного лечения [9, 10].

Таким образом, скрининг онкологических заболеваний представляет собой мощный инструмент, который способен изменить исходы лечения и повысить качество жизни миллионов людей. Однако его эффективность зависит от грамотного внедрения, соблюдения международных рекомендаций и постоянного мониторинга результатов [11]. Внедрение инновационных технологий, таких как искусственный интеллект, и использование данных, полученных в рамках виртуального скрининга, открывают новые горизонты для повышения качества и доступности скрининговых программ.

Фундаментальные основы программ скрининга онкологических заболеваний

Критерии для внедрения программ скрининга были впервые сформулированы Уилсоном и

Юнгнером (Wilson & Jungner) в 1968 г. [12]. Эти критерии, до сих пор используемые в медицинской практике, определяют, для каких заболеваний и при каких условиях целесообразно использовать скрининг. Они включают такие аспекты, как значимость заболевания для общества, наличие эффективных методов лечения, доступность надежных тестов и их экономическая эффективность. Однако с течением времени медицинские технологии и подходы к организации скрининга значительно усложнились. В условиях растущего объема данных, нового понимания рисков и преимуществ скрининга, а также появления современных методов диагностики возникла необходимость пересмотра классических критериев.

В 2022 г. Международное агентство по изучению рака (IARC WHO) опубликовало консенсусный документ, в котором критерии были адаптированы к современным вызовам здравоохранения. В нем представлены четкие и унифицированные требования для определения и реализации организованных программ скрининга рака. Эти критерии направлены на устранение путаницы в терминах и обеспечивают стандартизацию скрининговых программ, что особенно важно для их внедрения и оценки результатов в разных странах [13].

В научной литературе и клинической практике до сих пор существует путаница в терминах, описывающих скрининг. Понятия «популяционный скрининг», «организованный скрининг» и «оппортунистический скрининг» нередко используются взаимозаменяемо, что затрудняет интерпретацию данных исследований и сравнение программ. Организованный скрининг подразумевает систематический процесс, основанный на четких инструкциях или рекомендациях. Он включает широкий охват целевой группы населения, проведение обследований через стандартизованные интервалы и обязательное наблюдение за всеми участниками, включая диагностику и лечение выявленных патологий. Популяционный скрининг фактически является синонимом организованного, но акцентирует внимание именно на массовом охвате населения. Его основная цель — снижение смертности от конкретных заболеваний и / или их осложнений, за счет повышения выявляемости заболеваний на ранних стадиях у как можно большего числа людей [14].

В свою очередь, оппортунистический скрининг проводится вне рамок организованных программ. Это любые обследования, направленные на выявление бессимптомных заболеваний, которые инициируются либо пациентом, либо врачом при визите по другому поводу. Такой подход не охватывает целевые группы

системно и не обеспечивает стандартизации интервалов и методов, что ограничивает его эффективность. В литературе также встречается термин «неорганизованный скрининг», который охватывает любые формы обследований, проводимых без четкой структуры и надзора. К такому виду «скрининга» можно отнести и стимулирование врачей выявлять злокачественные новообразования в рамках диспансеризации и профилактических медицинских осмотров (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 26.03.2024 № 142н «Об утверждении порядка и условий осуществления денежных выплат стимулирующего характера медицинским работникам за выявление онкологических заболеваний в ходе проведения диспансеризации и профилактических медицинских осмотров населения»).

Консенсус IARC WHO вводит ряд обязательных критериев, которые определяют, что такое организованный скрининг (табл. 1). Во-первых, программа должна основываться на протоколе или руководстве, которое описывает целевую группу, интервалы скрининга, используемые тесты, алгоритмы направления на дальнейшее обследование и лечение положительных случаев. Во-вторых, необходима система определения целевой группы населения, например, через медицинские регистры. Также обязательным является наличие системы активного приглашения целевых групп на обследование [15].

На рис. 1 представлены основные компоненты программ скрининга. Определение структуры управления, финансирования и целей программы обеспечивают устойчивость всего процесса. Эффективность программы оценивается заранее установленными показателями, такими как охват населения и качество диагностики. Программа должна предусматривать мониторинг и регулярные аудиты, которые помогают выявлять и устранять слабые места. Система уведомления участников о результатах и повторные приглашения для тех, кто не откликнулся, также являются неотъемлемыми элементами.

Программа скрининга всегда требует тщательного учета соотношения между потенциальной пользой и возможным вредом. С одной стороны, скрининг может существенно снизить заболеваемость и смертность за счет раннего выявления и лечения заболеваний. С другой стороны, существует риск ложноположительных и ложноотрицательных результатов, избыточной диагностики и ненужного лечения, которые могут привести к физическому, эмоциональному и финансовому бремени для пациентов. Именно поэтому важнейшей задачей является постоянное мониторинг и оценка программ скрининга с целью максимизации их пользы и минимизации вреда.



Рис. 1. Основные компоненты организованной программы скрининга

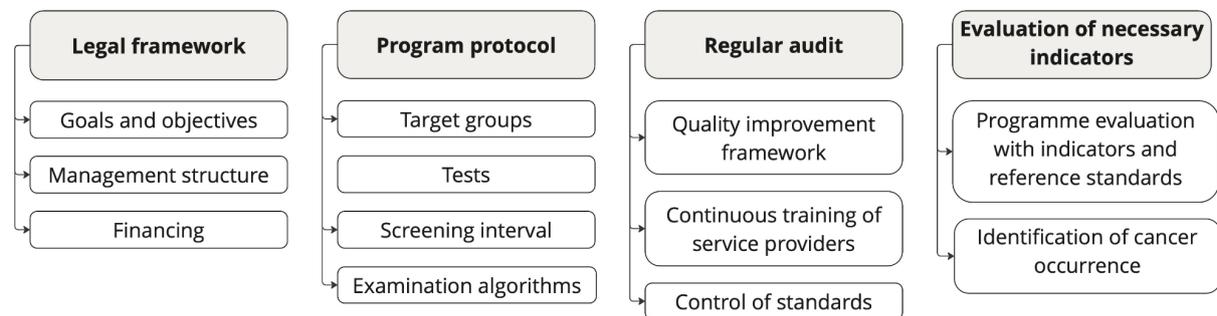


Fig. 1. Key components of an organized screening program

Таблица 1. Основные критерии программ популяционного скрининга

№	Критерий	Описание
1	Протокол или руководство программы	Описание целевой группы, интервалов скрининга, тестов, алгоритмов направления и ведения случаев для обеспечения единообразия и прозрачности.
2	Система определения целевой группы	Определение группы людей для скрининга на основе данных о возрасте, поле, факторах риска с использованием регистров и других демографических источников.
3	Система приглашения на скрининг	Активное приглашение целевой группы с информированием о важности обследования через письма, электронные сообщения или телефонные звонки.
4	Законодательная основа программы	Утверждение программы органами здравоохранения с определением структуры управления, финансирования, целей и задач для долгосрочной устойчивости.
5	Оценка эффективности программы	Анализ ключевых показателей, таких как охват, чувствительность, специфичность и снижение смертности, для оценки успеха программы.
6	Мониторинг и оценка программы	Постоянный контроль всех этапов программы, от приглашения до наблюдения за результатами, с целью выявления и устранения слабых мест.
7	Система уведомления о результатах	Информирование участников о результатах обследования и предоставление рекомендаций по дальнейшим действиям при положительном результате.
8	Система повторных приглашений	Напоминания для тех, кто не откликнулся на первое приглашение, чтобы повысить охват программы.
9	Регулярный аудит программы	Оценка выполнения всех этапов программы, выявление отклонений от стандартов и внедрение корректирующих мер.
10	Ответственность за качество	Назначение команды или организации, отвечающей за улучшение качества, контроль стандартов и оперативное решение проблем.
11	Оценка и распространение результатов	Публикация результатов оценки программы, включая охват, выявление заболеваний и их стадии, для обеспечения прозрачности и доверия.
12	Система повышения качества	Координация и оценка мероприятий с использованием системы обеспечения качества на всех этапах программы.
13	Протокол, основанный на фактических данных	Руководство, разработанное на основе научных данных и рекомендаций с учетом консенсуса врачей, специалистов и пациентов.
14	Интегрированная информационная система	Система для связи данных о населении, скрининге и раковых регистрах, позволяющая отслеживать участников и анализировать эффективность программы.
15	Непрерывное обучение провайдеров*	Регулярное обучение медицинского персонала для поддержания актуальных знаний и навыков проведения скрининга.
16	Эталонные стандартные показатели	Использование стандартов для объективной оценки эффективности программы и сравнения результатов с национальными и международными нормами.

* специалисты, которые непосредственно принимают участие в проведении скрининга.

Table 1. Key criteria for population-based screening programs

№	Name	Description
1	Program protocol or manual	Description of the target group, screening intervals, tests, referral algorithms and case management to ensure consistency and transparency.
2	Target group definition system	Definition of the population to be screened based on age, gender, risk factors using registries and other demographic sources.
3	Invitation system for screening	Invitation campaign for the individuals eligible for screening with information about the importance of screening events by letter, e-mail or telephone.
4	Legal framework	Approval of the program by the health authorities, with definition of the management structure, funding, goals and objectives for the long-term sustainability of the screening program.
5	Program performance evaluation	Analysis of key indicators such as coverage, sensitivity, specificity and mortality reduction to assess the success of the screening program.
6	Program monitoring and evaluation	As a minimum, the protocol/guideline should describe: Monitoring and evaluation.
7	Notification system	Notification of participants of test results and recommendations for further action in case of a positive result.
8	Recall notification system	Reminders to those who did not respond to the initial invitation to increase the coverage of the screening program.
9	Regular program audit	Assessment of the implementation of all stages of the program, identification of deviations from standards and implementation of corrective measures.
10	Quality assessment	Involvement of a team or organization to be responsible for quality assessment, control of standards and prompt resolution of problems.
11	Evaluation and dissemination of screening program results	Publishing the results of the program evaluation, including coverage, detection of diseases and their stages, to ensure transparency and trust.
12	Quality improvement framework	Coordination and evaluation of activities using a quality assurance system at all stages of the program.
13	Evidence-based Protocol	Guidelines developed on the basis of scientific evidence and recommendations, taking into account the consensus of doctors, specialists and patients.
14	Integrated information system	A system with appropriate links (between population databases, screening information, cancer registries, etc.) for implementation and evaluation of screening.
15	Continuous training for service providers*	Regular training for service providers to maintain up-to-date knowledge and skills in screening.
16	Reference standards for the indicators	Use of standards to objectively assess program effectiveness and compare results with national and international norms.

* professionals directly involved in screening program actions.



Рис. 2. Компоненты информационной системы для программы скрининга

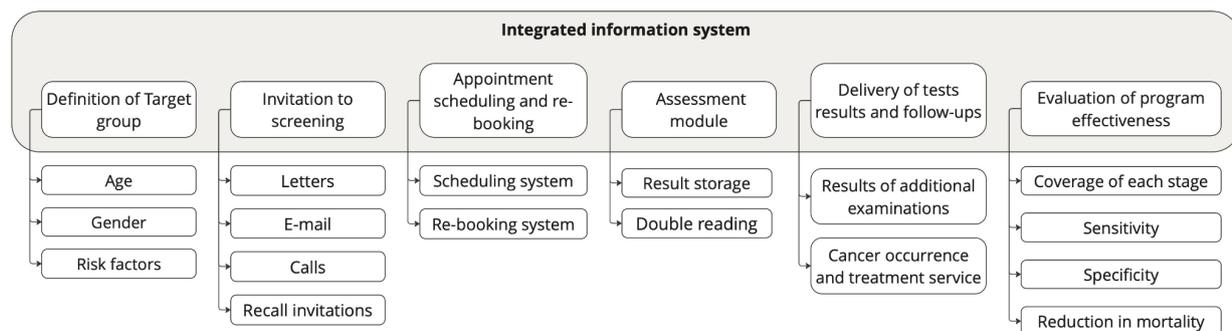


Fig. 2. Components of an integrated information system for a screening program

Контроль качества играет ключевую роль в достижении этой цели. Он включает использование наблюдательных эпидемиологических исследований для анализа и оценки основных индикаторов эффективности и безопасности программы. Такие индикаторы, как охват целевой группы, доля выявленных случаев заболевания на ранних стадиях, частота ложноположительных и ложноотрицательных результатов, а также показатели смертности, позволяют объективно оценить, насколько программа соответствует заявленным целям.

Например, высокий уровень ложноположительных результатов может привести к избыточным диагностическим процедурам, повышая риск ненужных инвазивных вмешательств и связанных с ними осложнений. В то же время низкая чувствительность теста может привести к пропуску заболевания на ранней стадии, что снижает общую эффективность скрининга. Во время проведения эпидемиологических исследо-

ваний можно выявить такие проблемы и предложить способы их устранения.

Эффективный контроль качества включает также анализ показателей охвата населения и соблюдения интервалов скрининга. Недостаточный охват целевой группы или несоблюдение рекомендуемых интервалов могут существенно снизить общий эффект программы. Важно не только привлекать новых участников, но и обеспечивать регулярное прохождение обследований теми, кто уже участвует в программе.

Кроме того, оценка программ скрининга должна учитывать долгосрочные последствия, включая влияние на качество жизни участников. Баланс пользы и вреда зависит не только от медицинских показателей, но и от восприятия скрининга самими пациентами. Для этого необходимо проводить исследования удовлетворенности участников программой, их информированности и уровня стресса, связанного с ожиданием результатов или необходимостью дальнейших обследований.

Таблица 2. Дополнительные критерии программ популяционного скрининга

№	Критерий	Описание
1	Ответственность за реализацию и координацию программы	За проведение и координацию программы должна отвечать конкретная организация или группа. Это может быть государственный орган, специализированное медицинское учреждение или другая уполномоченная структура.
2	Соблюдение протоколов медицинскими работниками	Все медицинские работники, участвующие в реализации программы, обязаны строго следовать установленным протоколам и руководствам для обеспечения высокого качества услуг.
3	Система выявления случаев рака	Программа должна включать механизм выявления и учета случаев рака среди целевой группы населения, например, через популяционный раковый регистр.
4	Информированное согласие участников	Участники программы должны быть проинформированы о пользе и рисках скрининга. Предоставление информированного согласия обеспечивает осознанное участие.
5	План повышения осведомленности	Программа должна включать мероприятия по повышению осведомленности целевой группы о важности скрининга, включая кампании в СМИ, образовательные мероприятия и работу с сообществами.
6	Правовая база для регистрации и связи данных	Программа должна иметь правовую основу для регистрации участников и связи между базами данных, что важно для мониторинга и оценки программы.
7	Адекватная инфраструктура и ресурсы	Наличие необходимой инфраструктуры, обученного персонала, оборудования и материалов для проведения скрининга, диагностики и лечения.
8	Справедливый доступ к услугам	Программа должна обеспечивать равный доступ к услугам для всех участников, независимо от их социально-экономического статуса или места проживания.

Table 2. Additional criteria for population-based screening programs

№	Name	Description
1	Program implementation and coordination team	A specific organization or group should be responsible for the implementation and coordination of the program. This could be a government agency, a health facility or another authorized body.
2	Adherence to the screening program protocols by health care professionals	All health care professionals are required to strictly follow established protocols and guidelines to ensure high quality of services.
3	Cancer occurrence detection system	The program should include a mechanism for detecting and recording cancer occurrence in the target population (e.g., population-based cancer registry).
4	Informed choice	Program participants should be informed of the benefits and harms of screening events. Informed consent ensures conscious participation.
5	Increasing awareness	The program should include activities to raise awareness of the importance of screening events among the target population, including media campaigns, educational events and community outreach.
6	Legal framework	The program should have a legal framework for registration of participants, collecting data and data linkages.
7	Adequate infrastructure and resources	Availability of the necessary infrastructure, trained team, equipment and supplies for delivery of screening, diagnostics and treatment services.
8	Equitable access to services	The program should ensure equal access to services for all participants, regardless of their socioeconomic status or place of residence.

Таким образом, постоянный контроль качества и использование наблюдательных эпидемиологических исследований являются неотъемлемыми компонентами организованных программ скрининга. Для осуществления популяционного скрининга необходима информационная система, в которую включены компоненты программы (рис. 2). Они обеспечивают систематическую оценку пользы и вреда, что позволяет своевременно корректировать программу и улучшать её эффективность, снижая при этом возможные риски для участников.

Помимо этого, консенсус выделяет дополнительные критерии (табл. 2), которые обеспечивают более глубокую интеграцию программы в систему здравоохранения. В программе должна быть система для отслеживания случаев рака, например, через популяционный раковый регистр или систему оплаты медицинской помощи. Участники должны получать полную информацию о возможных рисках и выгодах скрининга и давать информированное согласие. Для повышения осведомленности и вовлеченности населения программа должна включать мероприятия по информированию и поощрению участия.

Программа должна быть поддержана соответствующей правовой базой, которая позволяет регистрировать данные участников и связывать их с другими медицинскими базами, такими как раковые регистры. Для её реализации требуется адекватная инфраструктура, включая обученный персонал, оборудование и материалы. Также важно обеспечить справедливый доступ к услугам, чтобы устранить социальные и экономические барьеры.

Ключевую роль в успехе программы играет непрерывное обучение медицинских работников. Кроме того, все аспекты программы должны быть интегрированы в информационную систему, которая обеспечивает связь между базами данных, что позволяет отслеживать участников и проводить оценку эффективности. Оценка программы осуществляется на основе эталонных стандартных показателей, а результаты регулярно публикуются и широко распространяются, способствуя прозрачности и повышению доверия к скринингу.

Виртуальный скрининг: новый подход к использованию медицинских данных

Современные программы скрининга рака широко используют диагностические методы, изначально разработанные или используемые для других медицинских целей. Так, колоноскопия, которая сегодня является золотым стандартом в скрининге колоректального рака, часто применяется для диагностики воспалительных и дру-

гих заболеваний желудочно-кишечного тракта. Низкодозная компьютерная томография (НДКТ), используемая в скрининге рака легкого, также служит инструментом для диагностики инфекционных поражений легких и оценки состояния коронарных сосудов. Подобным образом, тесты на уровень простатспецифического антигена (ПСА), анализ кала на скрытую кровь, маммография и МРТ молочных желез могут применяться вне рамок организованных программ, в контексте оппортунистического или неорганизованного скрининга. Это хаотичное использование снижает эффективность методов, затрудняет систематический анализ их результатов и мешает реализации комплексного подхода к скринингу.

Прогресс цифровых технологий в медицине открыл новые возможности для обработки и анализа медицинских данных. Каждое диагностическое обследование оставляет цифровой след, который может быть использован в будущем. Объем таких данных стремительно растет, охватывая все большее количество людей. Однако в большинстве случаев эти данные остаются неструктурированными и нестандартизированными. Они хранятся в разрозненных системах и не интегрируются в организованные программы скрининга, что ограничивает их потенциальную пользу.

Для решения этой проблемы мы предлагаем концепцию виртуального скрининга. Виртуальный скрининг — это использование уже выполненных для других целей медицинских исследований и полученных в ходе них данных, в т. ч. результатов лучевой диагностики, вместо первичных обследований для скрининга различных заболеваний. Таким образом, виртуальный скрининг включает в себя сбор, структуризацию, стандартизацию и анализ данных, полученных в ходе диагностических обследований, проведенных вне рамок организованных программ скрининга.

Этот подход позволяет использовать уже существующие медицинские данные для принятия решений в рамках организованных программ без необходимости приглашения пациентов на дополнительные обследования. При этом важно отметить необходимость тщательного контроля за внесением соответствующих правок в информированные согласия для пациентов. Виртуальный скрининг может существенно повысить эффективность скрининговых программ, оптимизировать их затраты и улучшить качество принимаемых решений. Ключевой особенностью виртуального скрининга является его способность интегрировать разрозненные данные для уточнения групп риска, оптимизации интервалов между обследованиями и выбора наиболее под-

ходящих методов диагностики для различных категорий пациентов. Например, данные о ранее проведенной колоноскопии или маммографии могут быть использованы для определения необходимости и сроков повторного обследования, минимизируя избыточные исследования и снижая нагрузку на систему здравоохранения.

Виртуальный скрининг базируется на нескольких фундаментальных компонентах (рис. 3):

1. Система сбора данных обследований. Автоматизированный сбор данных из различных источников, включая электронные медицинские карты, лабораторные системы и другие источники.

2. Система контроля качества данных. Верификация точности и полноты полученных данных для обеспечения их надежности.

3. Структуризация, сопоставление и стандартизация данных. Преобразование данных в единый формат, что делает их сопоставимыми и удобными для последующего анализа.

4. Использование стандартизированных наборов данных для виртуального скрининга и выявления патологий.

5. Валидация алгоритмов автоматизации. Разработка и тестирование алгоритмов, которые позволяют автоматизировать все вышеперечисленные этапы, включая сбор, структуризацию и анализ данных.

Если описывать эти категории подробнее, то прогресс в области цифровых технологий, хранения и обработки данных делает возможным создание систем, обеспечивающих сбор, анализ

и стандартизацию данных. Система сбора данных обследований позволяет аккумулировать информацию из различных источников. Важным компонентом этой системы является контроль качества данных. Неполные или неточные данные могут существенно снизить эффективность программы скрининга, поэтому их своевременная верификация имеет критическое значение. С учетом этого, мы можем предположить, что виртуальный скрининг может позволить проводить исследования не среди всех людей, которые выполнили соответствующее обследование, а только среди групп высокого риска.

После сбора и верификации данные проходят этап структуризации и стандартизации, что позволяет привести их к единому формату. Стандартизованные данные и алгоритмы позволяют выявлять необходимые патологии.

Оценка эффективности организованных программ с использованием данных виртуального скрининга включает анализ ключевых показателей: чувствительности и специфичности. Виртуальный скрининг предоставляет возможность снизить затраты на реализацию программы за счет сокращения избыточных процедур и более рационального распределения ресурсов. В рамках виртуального скрининга возможно проводить тестирование новых методов обработки данных, применять различные модели искусственного интеллекта, а также формировать уточняющие требования критериев для популяционного скрининга злокачественных новообразований.



Рис. 3. Компоненты виртуального скрининга

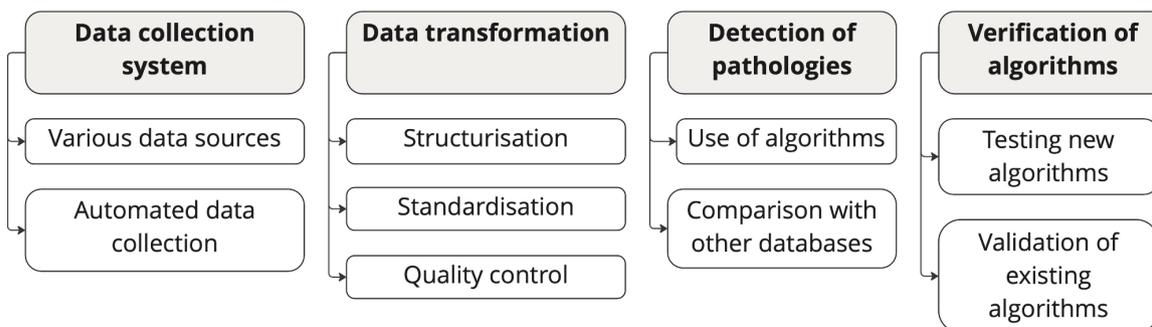


Fig. 3. Components of virtual screening

Важным аспектом является возможность автоматизировать все этапы виртуального скрининга: от сбора данных до их анализа и интерпретации. Автоматизация процессов позволяет существенно сократить время и ресурсы, необходимые для обработки больших объемов данных, а также минимизировать человеческий фактор. Это делает возможным более широкое внедрение технологий виртуального скрининга в практику здравоохранения.

Роль искусственного интеллекта в виртуальном скрининге

Искусственный интеллект (ИИ) играет ключевую роль в реализации концепции виртуального скрининга, обеспечивая автоматизацию, точность и эффективность на каждом этапе. Рассмотрим, как цифровые технологии, в т. ч. и ИИ, и другие инструменты обработки цифровых решений (далее ИИ) способствуют выполнению основных компонентов виртуального скрининга.

1. Система сбора данных обследований

ИИ обеспечивает автоматизированный сбор и интеграцию данных из различных источников, таких как электронные медицинские карты и лабораторные системы. С помощью методов машинного обучения (machine learning — ML) и обработки естественного языка (Natural Language Processing — NLP) ИИ может извлекать данные даже из неструктурированных текстовых документов, таких как медицинские записи или результаты обследований.

2. Система контроля качества данных

ИИ играет важную роль в верификации точности и полноты данных. С помощью алгоритмов обнаружения аномалий и предсказательной аналитики ИИ может автоматически выявлять и исправлять ошибки или пропуски в данных. Например, если определенные показатели обследования отсутствуют или выходят за пределы нормальных значений, ИИ может сигнализировать о необходимости проверки или исправления. Это повышает надежность данных, что критически важно для принятия обоснованных решений в рамках скрининговых программ.

3. Структуризация и стандартизация данных

ИИ помогает преобразовывать разнородные данные в единый формат, обеспечивая их совместимость и удобство для анализа. Алгоритмы ИИ могут автоматически размечать данные из различных источников в стандартные форматы, а также проводить их очистку и дополнение. Это позволяет создать унифицированные датасеты, которые можно использовать для последующего анализа. ИИ также может автоматически сопоставлять медицинские термины и коды с международными стандартами (например, МКБ или SNOMED).

4. Помощь при выявлении патологий

ИИ позволяет при одном исследовании выявлять разные патологии. Например, при применении ИИ на выявление злокачественных новообразований в легких можно выявить патологические изменения в сердечно-сосудистой системе. ИИ позволяет показать область, которая должна быть дополнительно оценена врачом. Это позволит увеличить выявление сопутствующей патологии и не пропустить жизненно-важную патологию у пациента.

5. Оценка различных показателей

ИИ позволяет анализировать ключевые показатели эффективности скрининга, такие как чувствительность, специфичность и частота ложноположительных или ложноотрицательных результатов. Алгоритмы машинного обучения могут использовать стандартизированные наборы данных для проведения сложных многомерных анализов, которые вручную выполнить было бы затруднительно. ИИ также способен выявлять скрытые закономерности и тренды, что помогает улучшать методы скрининга и адаптировать их под особенности целевых групп населения.

Примеры исследований с использованием виртуального скрининга

Одним из ярких примеров применения виртуального скрининга является исследование, проведенное в Красноярском крае [15]. Оно показало, как искусственный интеллект (ИИ) может использовать данные компьютерной томографии (КТ) грудной клетки, выполненные по причинам, не связанным с раком легкого, для выявления онкологических заболеваний. Исследование охватывало 10,500 КТ, проведенных у пациентов с COVID-19. Алгоритм ИИ Chest-IRA анализировал снимки и выявлял узловые образования объемом более 100 мм³.

Из 10 500 случаев алгоритм выделил 484 пациента с подозрительными образованиями. После проверки и исключения 129 случаев с проблемами деанонимизации было подтверждено 355 случаев, из которых 252 имели высокую или среднюю вероятность рака легкого. В результате дальнейшего анализа и гистологической верификации подтвердились 100 случаев рака легкого. Из них 35 находились на ранних стадиях (I–II), а 65 — на более поздних стадиях (III–IV). В двух случаях диагноз был поставлен впервые, что подчеркивает значимость применения ИИ для выявления ранее не диагностированных заболеваний.

Экономический анализ продемонстрировал значительную выгоду. Использование ИИ позволило сэкономить 2,43 млн руб. на оплату труда радиологов и сэкономить региональному

бюджету 8,22 млн руб. за счет снижения затрат на лечение поздних стадий рака. Общий экономический эффект, включая стоимость спасенных лет жизни, составил 183,9 млн руб. за пятилетний период.

Это исследование подчеркивает, что использование ИИ для анализа КТ, выполненных не в целях популяционного скрининга, может значительно повысить эффективность раннего выявления рака легкого. Виртуальный скрининг не только улучшает результаты диагностики, но и способствует значительной экономии ресурсов, обеспечивая при этом высокую точность и индивидуализированный подход к пациентам.

Другим интересным примером применения технологий виртуального скрининга является исследование, которое объединило видеозаписи колоноскопий из облачного хранилища с данными пациентов из электронных медицинских карт [16]. Исследование охватило 28 611 колоноскопий, выполненных за определенный период, из которых 21 170 видеозаписей, относящихся к 20 420 уникальным пациентам, были успешно сопоставлены с данными из электронных медицинских карт. Среди пациентов было 54,2 % мужчин, а медианный возраст составил 58 лет.

Для идентификации видеозаписей использовались временные метки и номера процедурных кабинетов. Разработанный алгоритм показал высокую точность: в случайной выборке из 100 видео все сопоставления с медицинскими данными были подтверждены вручную. Всего анализ охватывал 489,721 мин. записей колоноскопий, выполненных 50 эндоскопистами (медианное количество процедур на одного врача — 214). Основные показания к процедурам включали скрининг полипов (47,3 %), наблюдение (28,9 %) и воспалительные заболевания кишечника (9,4 %).

Видео использовались для выделения ключевых моментов процедур, в среднем по 8,5 фрагментов на одну колоноскопию. Это позволило создавать наборы данных для обучения алгоритмов машинного обучения, которые могли бы оценивать клинические исходы на основе видеоматериалов и связанной медицинской информации.

Исследование демонстрирует, как интеграция видеозаписей эндоскопических процедур с данными пациента может способствовать развитию алгоритмов машинного обучения для анализа больших данных. Такой подход открывает новые возможности для более точной диагностики в рамках программ скрининга.

Наконец, еще одно исследование, проведенное в Новой Зеландии, демонстрирует высокую распространенность оппортунистического скрининга рака простаты с использованием теста на простатспецифический антиген (ПСА) [17]. Исследование охватывало данные 311 725 мужчин,

которые в течение 10 лет (с 2008 по 2017 гг.) прошли в общей сложности 1 208 214 тестов на ПСА. Средний возраст на момент первого теста составлял 55,2 года, и в среднем каждый мужчина проходил около четырех тестов.

Исследование показало, что 87 % мужчин в возрасте от 40 до 79 лет прошли хотя бы один ПСА-тест в рамках оппортунистического скрининга. Среди мужчин в возрастной группе от 50 до 69 лет 65 % регулярно проходили тесты каждые два года. При этом мужчины, которые проходили три и более тестов, имели значительно более высокий риск диагноза рака простаты.

Эти данные указывают на то, что практика оппортунистического скрининга в регионе значительно шире, чем предполагают официальные рекомендации. Это вызывает вопросы о качестве процесса информирования пациентов и достаточности ресурсов для обеспечения такого уровня тестирования. Исследование подчеркивает необходимость более организованного подхода к скринингу, что может быть улучшено за счет использования технологий виртуального скрининга и более эффективного распределения ресурсов.

Будущее виртуального скрининга

Исследования в области виртуального скрининга должны быть направлены на интеграцию ИИ, технологий анализа больших данных в существующие программы скрининга. При этом виртуальный скрининг должен основываться на репрезентативных базах данных, которые включают данные инструментальной диагностики, клинические показатели и лабораторные исследования, потенциально собранные в нескольких медицинских организациях.

Основные задачи будущих исследований должны включать несколько этапов. Во-первых, необходимо исследовать ключевые характеристики и параметры баз данных, которые требуются для проведения виртуального скрининга. Это включает анализ структуры данных, их полноты и релевантности для задач скрининга. Следующим шагом является сбор и формирование базы данных, которая будет использоваться для обучения и тестирования ИИ. Результаты работы алгоритмов проходят валидацию на основе не только медицинских показателей, но и экспертных заключений, что обеспечивает их надежность и применимость в клинической практике. Финальным этапом является оформление результатов и разработка рекомендаций по внедрению виртуального скрининга в рамках уже организованных программ.

Решение вопросов, касающихся получения информированного согласия, а также установления нормативной базы и правил обмена данными

между медицинскими организациями и системами, является неотъемлемой частью работы по внедрению виртуального скрининга.

Ожидается, что исследования приведут к созданию комплексного подхода к внедрению цифровых технологий в системы профилактики и диагностики. Это позволит не только улучшить качество скрининговых программ, но и снизить затраты за счет оптимизации процессов и снизить вред от проведения лишних обследований. Практическая значимость таких исследований заключается в том, что подходы и технологии, разработанные в рамках виртуального скрининга онкологических заболеваний, могут быть адаптированы для различных направлений здравоохранения и регионов. Это обеспечит масштабируемость решений и возможность их использования в широком спектре медицинских учреждений. Будут разработаны цифровые продукты, адаптированные к потребностям отдельных, не только онкологических медицинских учреждений, которые могут использоваться для скрининга и прогнозирования рисков развития различных заболеваний на основании уже выполненных обследований.

Внедрение таких технологий позволит повысить доступность качественной медицинской помощи, обеспечить более точное выявление заболеваний на ранних стадиях и улучшить прогнозы для многих заболеваний, а также снизить общую смертность.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке государственного задания № FSER-2022-0013 в рамках национального проекта «Наука и университеты».

Financing

This study was supported by the grant № FSER-2022-0013 of the National Project «Science and Universities».

Участие авторов

Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработке концепции статьи, подборе и анализе литературы, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

Author contributions

All authors made a substantial contribution to the conception of the work, literature selection and analysis for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. World Health Organization. 2024.-URL: <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services> (30.10.2024).

2. Cancer today. International Agency for Research on Cancer (IARC): World Health Organization.-URL: <https://gco.iarc.fr/today/en/> (30.10.2024).

3. Барчук А.А., Гарага К.Э., Тарков С.А., et al., Эффективность скрининга онкологических заболеваний. *Вопросы онкологии*. 2017; 63(4): 557-567.-DOI: <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2017-63-4-557-567>.-URL: <https://voprosyonkologii.ru/index.php/journal/article/view/742>. [Barchuk A., Gagua K., Tarkov S., et al. The effectiveness of screening for cancer. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2017; 63(4): 557-567.-DOI: <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2017-63-4-557-567>.-URL: <https://voprosyonkologii.ru/index.php/journal/article/view/742>. (In Rus)].

4. Kerlikowske K., Grady D., Rubin S.M., et al. Efficacy of screening mammography: a meta-analysis. *JAMA*. 1995; 273(2): 149-154.-DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.1995.03520260071035>.-URL: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/385823>.

5. Bretthauer M., Løberg M., Wieszczyn P., et al. Effect of colonoscopy screening on risks of colorectal cancer and related death. *New England Journal of Medicine*. 2022; 387: 1547-1556.-DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2208375>.-URL: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2208375>.

6. Bedell S.L., Goldstein L.S., Goldstein A.R., et al. Cervical cancer screening: past, present, and future. *Sexual Medicine Reviews*. 2020; 8(1): 28-37.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sxmr.2019.09.005>.-URL: <https://academic.oup.com/smr/article/8/1/28/6812651>.

7. Lew J.B., St John D.J.B., Xu X-M., et al. Long-term evaluation of benefits, harms, and cost-effectiveness of the National Bowel Cancer Screening Program in Australia: a modelling study. *The Lancet Public Health*. 2017; 2(7): e331-e340.-DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(17\)30105-6](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(17)30105-6). URL: [https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667\(17\)30105-6/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(17)30105-6/fulltext).

8. US Preventive Services Task Force. Screening for breast cancer. *JAMA*. 2024; 331(22): 1918-1930.-DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2024.5534>.-URL: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2818283>.

9. Dunn B.K., Woloshin S., Xie H., et al. Cancer overdiagnosis: a challenge in the era of screening. *Journal of the National Cancer Center*. 2022; 2(4): 235-242.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jncc.2022.08.005>.-URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266700542200059X?via%3Dihub>.

10. Black W.C. Overdiagnosis: an underrecognized cause of confusion and harm in cancer screening. *Journal of the National Cancer Institute*. 2000; 92(16): 1280-1282.-DOI: <https://doi.org/10.1093/jnci/92.16.1280>.-URL: <https://academic.oup.com/jnci/article/92/16/1280/2905911>.

11. Барчук А.А., Раскина Ю.В., Смирнова О.В., et al. Скрининг онкологических заболеваний на уровне государственных программ: обзор, рекомендации и управление. *Общественное здоровье*. 2021; 1(1): 19-31.-DOI: <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-19-31>.-URL: <https://ph.elpub.ru/jour/article/view/5>. [Barchuk A.A., Raskina Yu.V., Smirnova O.V., et al. Cancer screening at the level of state programs: review, recommendations and management. *Public Health*. 2021; 1(1): 19-31.-DOI: <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-19-31>.-URL: <https://ph.elpub.ru/jour/article/view/5>. (In Rus)].

12. Wilson J.M.G., Jungner G. Principles and practice of screening for disease. Geneva: *World Health Organization*. 1968.-URL: <https://iris.who.int/handle/10665/37650>.

13. Zhang L., Carvalho A.L., Mosquera I., et al. An international consensus on the essential and desirable criteria for

- an “organized” cancer screening programme. *BMC Medicine*. 2022; 20(1): 101.-DOI: <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02291-7>.-URL: <https://bmcmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12916-022-02291-7>.
14. Барчук А.А., Беляев А.М., Филочкина А.В., et al. Скрининг рака и смертность. *Практическая онкология*. 2016; 17(4): 228-246.-DOI: <https://doi.org/10.31917/1704228>.-URL: <https://practical-oncology.ru/articles/23.pdf>. [Barchuk A., Belyaev A., Filochkina A., et al. Cancer screening and mortality. *Practical Oncology*. 2016; 17(4): 228-246.-DOI: <https://doi.org/10.31917/1704228>.-URL: <https://practical-oncology.ru/articles/23.pdf> (in Rus)].
 15. Зукров Р.А., Сафонцев И.П., Клименок М.П., et al. Выявление новых случаев рака легкого с помощью искусственного интеллекта: клиническая и экономическая оценка ретроспективного анализа результатов компьютерной томографии через 2 года после пандемии COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2024; 5(4).-DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630885>.-URL: <https://jdigitaldiagnostics.com/DD/article/view/630885>. [Zukov R., Safontsev I., Klimenok M., et al. Artificial intelligence in lung cancer detection: clinical and economic assessment of retrospective CT analysis two years post-COVID-19 pandemic. *Digital Diagnostics*. 2024; 5(4).-DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630885>.-URL: <https://jdigitaldiagnostics.com/DD/article/view/630885>. (In Rus)].
 16. Keswani R.N., Byrd D., Vicente F.G., et al. Amalgamation of cloud-based colonoscopy videos with patient-level metadata to facilitate large-scale machine learning. *Endoscopy International Open*. 2021; 9(2): E233-E238.-DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1326-1289>.-URL: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/a-1326-1289>.
 17. Matti B., Zargar-Shoshtari K. Opportunistic prostate cancer screening: a population-based analysis. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*. 2020; 38(5): 393-400.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2019.12.009>.-URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S107814391930496X?via%3Dihub>.

Поступила в редакцию / Received / 26.11.2024

Прошла рецензирование / Reviewed / 01.12.2024

Принята к печати / Accepted for publication / 19.12.2024

Сведения об авторах / Author information / ORCID

Юрий Игоревич Комаров / Yuriy I. Komarov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3256-0451>.
 Алексей Михайлович Беляев / Alexey M. Belyaev / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5580-4821>.
 Наталья Николаевна Хилько / Natalia N. Khilko / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3968-6062>.
 Арина Игоревна Ускова / Arina I. Uskova / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2775-4462>.
 Дарья Алексеевна Денисова / Daria A. Denisova / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-8288-4083>.
 Борис Сергеевич Каспаров / Boris S. Kasparov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0341-3823>.
 Анна Евгеньевна Андрейченко / Anna E. Andreychenko / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>.
 Жанна Владимировна Хайлова / Zhanna V. Khailova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3258-0954>.
 Андрей Дмитриевич Каприн / Andrey D. Kaprin / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>.
 Виталий Владимирович Омеляновский / Vitaly V. Omelyanovsky / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1581-0703>.

