

МОРОЗОВ С.П.,

д.м.н., профессор, ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: morozov@npcmr.ru

ВЛАДИМИРСКИЙ А.В.,

д.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru

ШУЛЬКИН И.М.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: i.shulkin@npcmr.ru

ЛЕДИХОВА Н.В.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: n.ledikhova@npcmr.ru

АРЗАМАСОВ К.М.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

АНДРЕЙЧЕНКО А.Е.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: a.andreychenko@npcmr.ru

ЛОГУНОВА Т.А.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: t.logunova@npcmr.ru

ОМЕЛЯНСКАЯ О.В.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru

ГУСЕВ А.В.,

к.т.н., ООО «К-Скай», г. Петрозаводск, Россия; ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: agusev@webiomed.ai

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ (РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ГОДА МОСКОВСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО КОМПЬЮТЕРНОМУ ЗРЕНИЮ)

DOI: 10.25881/18110193_2022_1_12

Аннотация.

В 2020 г. в рамках «Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы» было проведено мультицентровое проспективное исследование целесообразности применения технологий искусственного интеллекта в условиях реальной клинической практики. В исследовании приняли участие 18 различных систем ИИ, доступных для 538 врачей-рентгенологов, работающих с единой радиологической информационной системой (ЕРИС ЕМИАС).

Оценка целесообразности внедрения искусственного интеллекта (ИИ) осуществлялась по различным аспектам, включая приемлемость, спрос со стороны врачей-рентгенологов, качество реализации, способность адаптации и в конечном итоге степень воздействия на производительность труда.

Материалом работы были результаты 1 762 949 исследований и данные 15 028 результатов обратной связи от врачей-рентгенологов по нескольким модальностям.

В результате проведения исследования выявлено, что вовлеченность врачей-рентгенологов в применение ИИ-Сервисов составила 22,4%. Практическое использование реальных ИИ-продуктов положительно изменило отношение врачей к технологиям ИИ. Обеспечили анализ результатов лучевых исследований в пределах установленных временных нормативов 65% ИИ-Сервисов. Выявлено достоверное снижение длительности подготовки описаний результатов профилактической маммографии в амбулаторном звене на 15,0% ($p = 0,03$), в стационарном звене – на 50,0% ($p = 0,05$). Выявлено достоверное увеличение длительности описаний результатов компьютерной томографии/низкодозной компьютерной томографии для выявления злокачественных новообразований легких на 42,0% ($p = 0,04$). Разнонаправленный характер влияния ИИ-Сервисов на производительность труда врачей-рентгенологов требует дальнейшего углубленного изучения.

Анализ проведенного исследования позволяет сделать вывод о целесообразности применения ИИ-Сервисов в лучевой диагностике для повышения производительности труда врачей-рентгенологов, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций. Результаты работы технологий ИИ должны в обязательном порядке верифицироваться врачом.

Ключевые слова: лучевая диагностика, машинное обучение, искусственный интеллект.

Для цитирования: Морозов С.П., Владимирский А.В., Шулькин И.М., Ледихова Н.В., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е., Логунова Т.А., Омелянская О.В., Гусев А.В. Исследование целесообразности применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике. Врач и информационные технологии. 2022; 1: 12-29. doi: 10.25881/18110193_2022_1_12

MOROZOV S.P.,

Dr. Sci. (Medicine), Professor, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: morozov@npcmr.ru

VLADZYMYRSKYY A.V.,

Dr. Sci. (Medicine), Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru

SHULKIN I.M.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: i.shulkin@npcmr.ru

LEDIKHOVA N.V.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: n.ledikhova@npcmr.ru

ARZAMASOV K.M.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

ANDREYCHENKO A.E.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: a.andreychenko@npcmr.ru

LOGUNOVA T.A.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: t.logunova@npcmr.ru

OMELYANSKAYA O.V.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia, e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru

GUSEV A.V.,

PhD, K-SkAI, Petrozavodsk, Russia; Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia, e-mail: agusev@webiomed.ai

FEASIBILITY OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RADIOLOGY (FIRST YEAR OF MOSCOW EXPERIMENT ON COMPUTER VISION)

DOI: 10.25881/18110193_2022_1_12

Abstract.

The rationale for use of artificial intelligence (AI) in radiology departments to analyze medical images in real-life clinical practice was studied in a multicenter prospective trial. This was a part of the "Experiment on the use of innovative technologies in the field of computer vision for the analysis of medical images and further use in the healthcare system of Moscow" taking place in 2020. The trial included 18 different AI systems and 538 participating radiologists, all working within

Unified Radiological Information Service. We evaluated applicability of AI systems, demand from radiologists, the quality of AI implementation, radiologists adaptability and AI impact on the overall radiologists productivity.

The final analysis included 1 762 949 AI processing results and 15 028 feedbacks from radiologists.

Commitment of radiologists to use AI systems was 22.4%. Also 65% of the tested AI systems didn't increase maximal timeline set for the image analysis. AI implementation for analyzing prophylactic mammography images accelerated delivery of the results in outpatient and inpatient setting by 15.0% ($p = 0.03$) and 50.0% ($p = 0.05$) respectively. Lung CT and low-dose CT image analysis (searching for potential lung cancer) took radiologists longer to perform by 42.0% of their standard time ($p = 0.04$) when using AI systems. Such contradictory results of AI implementation in different radiology sub-specialties need to be further analyzed.

Overall the study results suggest time-saving rationale for using AI systems in radiology departments, including emergency settings. The output of AI image analysis should be verified by radiologist.

Keywords: radiation diagnostics, machine learning, artificial intelligence.

For citation: Morozov S.P., Vladzimirskyy A.V., Shulkin I.M., Ledikhova N.V., Arzamasov K.M., Andreychenko A.E., Logunova T.A., Omelyanskaya O.V., Gusev A.V. Feasibility of using artificial intelligence in radiation diagnostics. Medical doctor and information technology. 2022; 1: 12-29. doi: 10.25881/18110193_2022_1_12

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации принята Стратегия развития искусственного интеллекта (ИИ), в которой здравоохранение выделено как одна из приоритетных отраслей для развития и внедрения ИИ (Указ Президента РФ от 10.10.2019 №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации», <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003>). Лучевая диагностика (ЛД) является важнейшей частью общего лечебно-диагностического процесса, предоставляющего врачам клиницистам ценную информацию при постановке диагноза, определении тактики лечения, контроле динамики и восстановления пациентов. В этой связи применение ИИ для повышения эффективности работы подразделений лучевой диагностики представляется одним из наиболее перспективных подходов к повышению эффективности работы системы здравоохранения в целом [1].

Невзирая на колоссальный интерес, взрывной рост разработок и публикаций, сбор и предоставление достоверных доказательств целесообразности применения программных продуктов на основе технологий ИИ все еще является недостаточным. Подавляющее число научных исследований в этой сфере носит технологический или математический характер и не соответствует требованиям доказательной медицины [2]. Результаты клинических испытаний ИИ публикуются крайне редко и в основном представляют собой ограниченные исследования. В этой связи было предложено проведение систематического анализа данных, накопленных в ходе контролируемого научного исследования, для формирования выводов о практической целесообразности применения ИИ в реальной клинической практике.

Цель исследования: изучить целесообразность применения технологий ИИ, в том числе с позиций технологического качества и устойчивости сервисов, их влияния на удовлетворенность и производительность труда врачей-рентгенологов.

Задачи исследования:

1. Оценить готовность врачей-рентгенологов к практическому использованию технологий ИИ.
2. Оценить эффективность работы ИИ-Сервисов и сравнить их по параметрам практического использования.
3. Изучить влияние ИИ-Сервисов на длительность описаний результатов лучевых исследований.
4. Оценить качество и надежность присутствующих на рынке ИИ-Сервисов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мультицентровое проспективное исследование целесообразности применения ИИ-Сервисов (feasibility study) выполнено в рамках «Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы», проведенного в период с 01.01.2020 по 31.12.2020 в 296 медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы, оказывающих взрослому населению первичную медико-санитарную помощь в амбулаторных условиях и специализированную медицинскую помощь в стационарных условиях.

Координационные, научные, методологические и образовательные задачи исследования выполнены коллективом ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы».

Исследование одобрено Независимым этическим комитетом Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов (МРО РОРР) (протокол 2/2020 от 20.02.2020). Методика исследования соответствует Совместному заявлению Европейского и Североамериканского общества радиологов и др. об этике ИИ в радиологии [3]. Для включения в исследование пациенты подписывали специальную форму добровольного информированного согласия, для дополнительного информирования использовалась специально разработанная брошюра. Исследование зарегистрировано в базе данных Clinical Trials с присвоением идентификационного номера ID Clinical Trials NCT04489992.

Технологической основой для проведения исследования стал Единый радиологический информационный сервис «Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы» (ЕРИС ЕМИАС), который объединяет рабочие места рентгенолаборантов, врачей-рентгенологов и 935 диагностических комплексов, аккумулирует информацию о каждом обследовании

и предоставляет доступ к его результатам для лечащих врачей. Исследование выполнено по 4 модальностям.

Для участия в исследовании были отобраны 39 ИИ-Сервисов от 21 компании-разработчика, в том числе 8 российских представителей зарубежных разработчиков. Из них 18 ИИ-Сервисов были успешно интегрированы с ЕРИС ЕМИАС и использованы для оценки реального потока результатов лучевых исследований.

Результаты работы ИИ-Сервисов были доступны для использования и оценки в ЕРИС ЕМИАС для 538 врачей-рентгенологов (физических лиц). Во время исследования любой врач-рентгенолог мог изучить результаты работы подключенного ИИ-Сервиса и использовать по своему усмотрению, которое было сугубо добровольным. По результатам работы с ИИ-сервисом врач мог также добровольно заполнить форму обратной связи.

Таблица 1 — Аспекты оценки целесообразности применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике

Аспект	Гипотезы	Метрики
Приемлемость	Внедрение ИИ-Сервисов не вызывает интерес пользователей (врачей-рентгенологов). Использование ИИ-Сервисов не изменяет уровень удовлетворенности пользователей (врачей-рентгенологов)	Удовлетворенность пользователей. Вовлеченность пользователей. Предполагаемая целесообразность использования. Предполагаемое положительное или отрицательное воздействие на производительность и качество работы
Спрос	Реальный спрос на постоянное использование ИИ-Сервисов у пользователей (врачей-рентгенологов) отсутствует	Фактическое использование. Намерение продолжать использование
Реализация	В условиях интеграции в радиологическую информационную систему субъекта РФ ИИ-Сервисы не обеспечат качественный анализ результатов >90% исследований в установленные временные рамки. Нулевая гипотеза: $H_0: \{ \text{Уровень дефектов работы ИИ-Сервисов типа «а» и/или «б» и/или «в» и/или «г» и/или «д» и/или «е»} > 10\% \}$	Степень реализации (объем проанализированных исследований по видам). Уровень и структура технологических дефектов. Время, затрачиваемое на обработку одного исследования
Осуществимость	В условиях реального производственного процесса отделений лучевой диагностики ИИ-Сервисы не повлияют на скорость подготовки описаний результатов исследований врачами-рентгенологами. Нулевая гипотеза: $H_0: \{ \text{Снижение длительности описания результатов лучевых исследований при работе ИИ-Сервисов} < 30\% \}$	Положительное/отрицательное воздействие на производительность труда врачей-рентгенологов
Интеграция	На данном уровне технического развития ИИ-Сервисы не могут быть интегрированы в существующие радиологические информационные системы с достаточным уровнем качества	Соответствие инфраструктуре и стандартам. Скорость интеграции. Устойчивость в работе
Способность к адаптации	ИИ-Сервисы утрачивают производительность при изменении клинического контекста применения	Сроки готовности к испытаниям обновленных алгоритмов. Показатели производительности и стабильности работы при изменении клинического контекста. Адаптируемость ИИ-Сервисов в условиях изменяющейся эпидемиологической обстановки

Исследование целесообразности применения ИИ-Сервисов (feasibility study) включало изучение различных аспектов, представленных в таблице 1.

Исследование выполнено на принципах системного подхода. При его проведении были использованы методы научного познания, включая аналитические (анализ, синтез) [4]; социологический опрос [5]; метод аналитического (поэлементного) нормирования труда [6]; методы функционального и калибровочного тестирования ИИ-Сервисов; метод технологического мониторинга ИИ-Сервисов, а также методы статистического анализа (описательная статистика, критерии Стьюдента, Манна-Уитни, Уилкоксона, коэффициент корреляции Пирсона, критерий Шапиро-Уилка (проверка гипотезы о нормальном распределении)); статистическая достоверность различий: вероятности случайного характера различий «р» — различия достоверны при $p < 0,05$; 95%-й доверительный интервал (ДИ) — результаты значимы только в пределах рассчитанного интервала.

Социологическое исследование проводилось с целью сбора и систематизации мнений и оценок практикующих врачей-рентгенологов по вопросам использования технологий ИИ в их профессиональной деятельности методом выборочного опосредованного социологического опроса. Структура опросника включала 5 блоков, исследование проведено в 4 этапа (табл. 2).

Сбор и анализ обратной связи по конкретным клиническим случаям от пользователей (врачей-рентгенологов) проводился путем заполнения специальной экранной формы, интегрированной в интерфейс автоматизированного рабочего места врача-рентгенолога в ЕРИС ЕМИАС.

Хронометраж работы врачей-рентгенологов включал оценку времени, затраченного ИИ-сервисом на интерпретацию полученных данных лучевой диагностики, и оценку времени, затрачиваемого врачом-рентгенологом на описание исследования.

Нормативное время на анализ было установлено в максимум 10 минут. Определение длительности описаний результатов лучевых исследований выполнено на принципах аналитического (поэлементного) метода нормирования труда [6]. Сравнение длительности описаний врачами-рентгенологами результатов лучевых исследований выполнено в 2-х группах идентичных медицинских организаций: Группа 1 (медицинские организации до внедрения ИИ-Сервисов, в период 10.09.2019–13.07.2020) и Группа 2 (медицинские организации после внедрения ИИ-Сервисов, в период 01.05.2020–25.12.2020).

Для хронометража использована арифметическая разница между временем начала работы над заключением и временем первого подписания заключения. Если указанная разница превышала 40 минут, то данный случай из исследований исключали (подобные задержки связаны с выполнением описаний особо сложных клинических случаев, получением экспертных консультаций внешних специалистов).

Оценка качества и надежности работы ИИ-сервисов была проведена методом технологического мониторинга участвующих в эксперименте продуктов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты социологического исследования

Проведение 1ого этапа исследования позволило оценить субъективные ожидания врачей от использования ИИ-Сервисов и затем сравнить объективную оценку работы с ними. По этому направлению было получено 359 заполненных анкет (67,0% от числа врачей, работающих с ИИ-Сервисами). Результаты анализа анкет представлены в таблице 3.

Примечательно, что по данным масштабного международного опроса врачей лучевой диагностики наблюдается немного иная картина: 50,8%

Таблица 2 — Этапы проведения социологического исследования

Этап	Сроки	Перечень вопросов
1	Сразу по окончании обучения	I и II блоки вопросов
2	Через 3 месяца работы с первым ИИ-Сервисом	III и IV блоки вопросов
3	После 1-го месяца работы со следующими (не первым) ИИ-Сервисом	IV блок вопросов
4	Через 6–8 месяцев использования ИИ-Сервисов (декабрь 2020 — январь 2021 гг.)	III и V блоки вопросов

Таблица 3 — Результаты оценки субъективных ожиданий врачей от использования ИИ-Сервисов

Вопрос	Результаты исследования
Поможет ли ИИ сократить количество пропущенных клинически значимых патологий?	46,0% положительно, 36,0% — нейтрально, 18,0% — отрицательно
Позволит ли ИИ больше сосредоточиться на проблемных областях изображений?	43,0% положительно, 38,0% нейтрально, 19,0% отрицательно
Решит ли ИИ проблему увеличивающейся рабочей нагрузки?	35,0% положительно, 38,0% нейтрально, 26,0% отрицательно
Ожидаете ли Вы, что ИИ-Сервис сократит время на написание заключений?	33,0% положительно («сократит»), 35,0% нейтрально («ничего не изменится»), 32,0% отрицательно («увеличит»)

опрошенных ожидают снижение длительности, а 49,2% — наоборот, увеличение длительности описаний [8]. Таким образом, ожидания московских врачей более нейтральны, выжидательные, в то время как ожидания почти половины международной аудитории менее оптимистичны.

Интересны опасения, которые возникают у профессиональной аудитории в связи с внедрением технологий ИИ. Применение искусственного интеллекта может увеличить количество ложноположительных находок — так считают 32,0% врачей; увеличится время работы врача — 23,0%, есть риск пропуска значимой патологии — 19,0%, будут трудности по использованию ИИ в рутинной работе — 13,0%. Все же 13,0% врачей считают, что профессия рентгенолога находится под угрозой в будущем.

Полученные ответы свидетельствуют о недостаточной информированности врачей о реальных возможностях и ограничениях ИИ, а также о недостаточности собственного практического опыта. На международном уровне наблюдается такая же картина: 68,6% врачей хотели бы пройти дополнительное углубленное обучение по вопросам возможностей и ограничений ИИ, а 58,1% — по практическим аспектам его применения. Примечательно, что 11,1% опрошенных хотели бы узнать «как выжить во время ИИ-революции», лишь 0,9% международной аудитории хотели бы полностью избежать применения ИИ [8].

Второй этап социологического исследования показал, что после нескольких месяцев активного использования ИИ-Сервисов мнения и оценки врачей-рентгенологов изменились (Рис. 1).

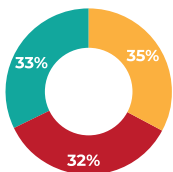
Возможности технологий ИИ сократить количество пропущенных клинически значимых

патологий «плохо» охарактеризовали 41,0% опрошенных, «хорошо» — 25,0%. Здесь отмечается отрицательная динамика (на предыдущем этапе аналогичные значения составляли 18,0% и 46,0% соответственно).

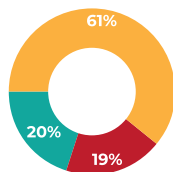
Оценки способности ИИ помочь врачу больше сосредоточиться на проблемных областях изображений практически не изменились (небольшое увеличение доли нейтральных оценок). Зато снизились отрицательные оценки возможностей ИИ-Сервисов по решению проблемы постоянно увеличивающейся трудовой нагрузки на врачей. Теперь оценку «плохо» дали 16,0% респондентов (на 10% меньше, чем на предыдущем этапе). Большая часть ответов здесь «сместилась» в нейтральную сторону. Реальное снижение длительности подготовки описаний благодаря ИИ-Сервисам указали только 20,0% респондентов, здесь произошло снижение на 12,0%. Снизилось количество отрицательных оценок, ощутимо возросло число нейтральных: с 35,0% до 61,0%. Примечательно, что существенно изменилась структура опасений, возникающих у врачей из-за внедрения технологий ИИ. Полностью исчезло мнение о наличии риска пропуска значимой патологии (на предыдущем этапе — 19,0%). На 8,0% возросло число утверждающих, что ИИ создает риски увеличения числа ложноположительных находок (с 32,0% до 40,0%). Больше число врачей-рентгенологов стали утверждать, что их профессия находится под угрозой: 20,0% против 13,0% на предыдущем этапе.

Итоговый, 4 этап опроса, проведенный после длительного опыта работы с ИИ-Сервисами, позволил собрать 320 заполненных анкет (67,0% от числа врачей, работающих с ИИ-Сервисами).

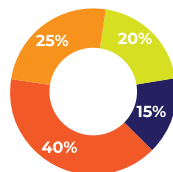
Ожидаете ли Вы, что ИИ сервис сократит время на написание заключений



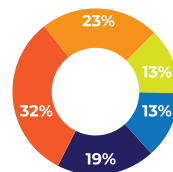
ИИ сокращает Ваши временные затраты на составление протоколов исследования



Какие опасения от внедрения ИИ у Вас возникают



Какие опасения от внедрения ИИ у Вас возникают



Ничего не изменится
Сократит
Увеличит

Профессия рентгенолога под угрозой исчезновения в будущем
Увеличится время работы
Увеличится количество ложно положительных находок
Риск пропуска патологий
Трудность использования ИИ сервиса в работе

ИИ решает/способен решить проблему растущей информационной и трудовой нагрузки в Вашей работе



ИИ позволяет Вам больше сосредоточиться на значимых областях изображений исследований



ИИ помогает уменьшить количество клинически значимых расхождений



Ожидаете ли Вы, что ИИ сервис решит проблему увеличивающейся рабочей нагрузки



Ожидаете ли Вы, что ИИ позволит больше сосредоточиться на значимых областях изображений исследований



Ожидаете ли Вы, что ИИ сервис поможет сократить количество пропущенных клинически значимых патологий



плохо (0-2) удовлетворительно (3-6) хорошо (7-10)

Рисунок 1 — Результаты анкетирования врачей-рентгенологов для оценки ожиданий и отношения к технологиям искусственного интеллекта (периоды опросов: 10.2020 и 01.2021).

Обобщенные ответы представлены в таблице 4.

Таким образом, результаты социологического исследования врачей-рентгенологов позволяют сформулировать следующие утверждения.

1. Общее отношение врачей к технологиям ИИ выжидательное, умеренное, нейтральное.
2. Требуется развитие доказательного научного подхода к внедрению технологий ИИ в

лучевой диагностике, систематизация накапливаемого практического опыта с активными научными публикациями.

3. Актуальна системная постоянная работа по дополнительному профессиональному обучению медицинских работников вопросам цифровизации, информатизации и автоматизации лучевой диагностики.

Таблица 4 — Обобщенные результаты анкетирования для оценки качества используемых ИИ-Сервисов (M+m)

Критерий	Средняя оценка
ИИ решает/способен решить проблему растущей информационной и трудовой нагрузки в Вашей работе (0 — совершенно не способен, 10 — решит существенно)	5,2±2,6
ИИ позволяет Вам больше сосредоточиться на значимых областях изображений исследований (0 — ничего не меняется, 10 — дает возможность сосредоточиться)	5,2±2,7
ИИ помогает уменьшить количество клинически значимых расхождений (0 — нет, количество клинически значимых расхождений меньше не стало; 10 — да, количество клинически значимых расхождений существенно сокращается)	4,2±2,8
Оцените удобство использования ИИ-Сервиса (0 — совершенно неудобно, 10 — очень удобно)	5,6±2,4
Оцените уровень диагностической точности ИИ сервиса (0 — абсолютно неприемлемое качество, 10 — отличное качество)	5,2±2,3
ИИ-Сервис привел к увеличению времени подготовки заключения (0 — существенно увеличилось, 10 — несущественно увеличилось)	4,1±2,1
Оцените полезность приоритизации исследований в рабочем списке (0 — крайне низкая, 10 — очень высокая)	5,1±2,6
Насколько вам нравится отображение локализации находок на изображениях (0 — абсолютно не нравится, 10 — очень нравится)	5,6±2,5
Оцените точность локализации находок (0 — крайне низкая точность, 10 — точность очень высокая)	5,2±2,4
Оцените качество описания, созданного ИИ-Сервисом (0 — очень плохое качество, 10 — прекрасное качество)	5,1±2,3
Если ИИ-Сервис оценивает динамику, то оцените удобство реализации функциональности, связанной с оценкой в динамике (0 — абсолютно неудобно, 10 — очень удобно)	4,0±2,7
С какой вероятностью Вы бы порекомендовали данный ИИ-Сервис своим коллегам, врачам-рентгенологам? (0 — ни в коем случае не буду рекомендовать, 10 — обязательно буду рекомендовать)	4,9±2,5

4. Необходимо дальнейшее изучение вопросов целеполагания, стандартизации, качества технологий компьютерного зрения, а также обязательного внедрения процедур технических и клинических испытаний технологий ИИ как этапа получения статуса медицинского изделия.

Результаты сбора и анализ обратной связи

Всего на анализ ИИ-Сервисам было направлено 1 762 949 результатов исследований; из них проанализированы ИИ-Сервисами 83,3% (1 468 872), в том числе: результаты компьютерной томографии (КТ) и низкодозной КТ — 56,0% (818 296), маммографии — 4,0% (61 497), рентгенографии — 18,0% (270 965), флюорографии — 22,0% (318 114).

За период Эксперимента получено 15028 результатов обратной связи, примерно в равных долях по каждой модальности (Рис. 2).

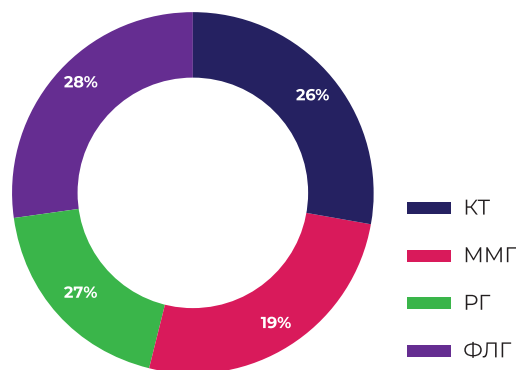


Рисунок 2 — Удельный вес результатов обратной связи от врачей-рентгенологов по разным модальностям.

Суммарные данные об оценках качества работы ИИ-Сервисов врачами-рентгенологами представлены в таблице 5.

Таблица 5 — Результаты обратной связи от врачей-рентгенологов по качеству работы ИИ-Сервисов

Категория отзыва	Удельный вес исследований, %*
Полное соответствие (согласен)	62,0
Не согласен	38,0
Значимое расхождение	8,0
Дефект	3,0
Грубая ошибка	5,0
Незначимое расхождение	26,0
Неверный диагноз	14,0
Неверная локализация	4,0
Неверная классификация	7,0
Прочее	4,0

* — Данные удельного веса не суммируются, так как врач-рентгенолог одновременно может указать несколько вариантов в форме обратной связи (например, «неверный диагноз» и «неверная локализация»).

Анализ собранных данных обратной связи позволил выделить 2 категории пользователей ИИ-сервисов (Рис. 3):

1. **Активные:** использующие, в той или иной мере при интерпретации и описании результатов исследований результаты работы ИИ-Сервисов.
2. **Дающие обратную связь:** вносящие данные в форму обратной связи в ЕРИС ЕМИАС.

За период исследования активными пользователями ИИ-Сервисов стали 1338 врачей-рентгенологов, обратную связь по качеству работы сервисов предоставляли 300 из них, что составило 22,4%. При оценке в динамике отмечается положительная тенденция использования: плавное нарастание количества врачей-рентгенологов, применяющих в той или иной мере

ИИ-Сервисы в течение 5 месяцев, затем — признаки выхода на плато в течение 2-х месяцев.

Для вовлеченности выявлена отрицательная динамика: небольшой подъем с 23,2% до 32,7% во втором месяце сменяется плавным снижением до 4,9% в последнем. Подобная динамика в целом характерна для этапа внедрения новых информационных технологий, особенно с учетом добровольности предоставления обратной связи [7]. Вместе с тем сформировалось «ядро» из специалистов с высокой вовлеченностью, постоянно сотрудничающих по вопросам обратной связи в Эксперименте.

В целом вовлеченность в 22,4% не только соответствует опубликованным ранее данным, но и немного превышает их. Так, по итогам международного опроса 675 членов Европейского

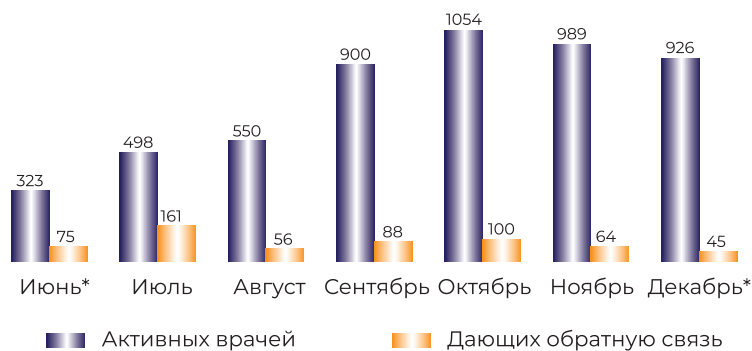


Рисунок 3 — Количественные данные о использовании ИИ-Сервисов и вовлеченности врачей-рентгенологов (знаком * отмечены неполные месяцы: в июне работа велась с 18.06.2020 по 30.06.20, в декабре с 01.12.2020 по 25.12.2020).

общества радиологов из 39 стран, установлено, что технологиями ИИ в своей практической работе пользуется 20% врачей [8]. Региональные опросы демонстрируют меньшие значения. Например, в Саудовской Аравии определен уровень используемости ИИ врачами лучевой диагностики в 18% [9].

Врачи-рентгенологи определили полное соответствие результатов работы сервисов компьютерного зрения реальной рентгенологической картине в 62,0% случаев. В 38,0% зафиксированы несоответствия; из этого числа значимые расхождения имели место в 8,0% случаев, незначимые — в 26,0%, грубые ошибки отмечены в 5,0% исследований.

Наибольший процент согласия с заключением по результатам обратной связи был получен для модальности флюорография — 75,0% и компьютерная томография (для выявления злокачественных новообразований легкого — 70,0%, COVID-19 — 64,0%). Примечательным фактом является низкое согласие врачей с результатами работы ИИ-Сервисов по модальности «Рентгенография» — 50,0%.

Оценка результатов хронометража

Во время проведения исследования были изучены длительности обработки ИИ-Сервисами данных выполненных обследований, расчет средних значений представлен в таблице 6.

Минимальным было медианное время обработки результатов рентгенографий и флюорографий — 23 и 12 секунд соответственно. Дольше всего выполнялся анализ КТ — 13 минут и 37 секунд. Для КТ длительность обработки результатов колебалась в очень большом диапазоне, в отдельных случаях превышая 6 часов. Это

обусловлено несоответствием аппаратного обеспечения компаний-разработчиков ИИ-Сервисов.

При анализе работы каждого ИИ-Сервиса установлено, что среднее время анализа одного исследования за весь период эксперимента не соответствовало установленному нормативному значению в 10 минут у 27,8% (5) ИИ-Сервисов.

Исходя из полученных данных и сведений о средней длительности подготовки описаний результатов лучевых исследований врачами-рентгенологами, выявлено отклонение от нормативного времени анализа одного исследования, что является критичной проблемой ИИ-Сервисов. Предоставление результатов автоматизированного анализа с критичным опозданием делает бессмысленным применение технологий ИИ. В предусмотренных Экспериментом клинических сценариях врач-рентгенолог просто успевает подготовить протокол раньше, чем ИИ-Сервис направляет свои результаты в ЕРИС ЕМИАС. Выше нами показан высокий удельный вес выявляемых при технологическом мониторинге дефектов группы «а»: превышение нормативного времени анализа одного исследования в среднем встречается в 22,0% случаев.

Таким образом, среднее время обработки исследований ИИ-Сервисами по модальностям соответствовало нормативным значениям. Вместе с тем у 27,8% ИИ-Сервисов выявлены критичные отклонения от установленного времени анализа одного исследования. Выявленная проблема является значимой. Для обеспечения клинической приемлемости применения ИИ-Сервисов считаем обязательным нормативное установление требований к максимальному времени анализа одного исследования (с учетом клинических сценариев).

Таблица 6 — Медианное время обработки исследований ИИ-Сервисами по модальностям

Модальность	Среднее время, сек.	95% ДИ
Компьютерная томография для выявления рака легкого (КТ РЛ)	817	(803, 832)
Низкодозовая компьютерная томография для выявления рака легкого (НДКТ РЛ)	656	(512, 921)
Компьютерная томография для выявления COVID-19 (КТ Covid)	276	(274, 277)
Маммография	144	(140, 149)
Рентгенография	23	(23, 24)
Флюорография	12	(12, 12)

Изучение влияния ИИ-Сервисов на длительность описаний результатов лучевых исследований выявило, что применение, по крайней мере, одного ИИ-Сервиса достоверно снижает длительность описаний результатов профилактической маммографии в амбулаторном звене на 15,0% или 1,08 минуты (критерий Уилкоксона = меньше («less»), $p = 0,03$). Аналогично зафиксировано достоверное снижение длительности подготовки описаний результатов маммографии в стационарном звене на 2 минуты или 50,0% (критерий Уилкоксона = меньше («less»), $p = 0,05$).

Выявлен факт противоположного воздействия на длительность описаний при использовании различных ИИ-Сервисов в рамках одной модальности, что, вероятно, зависит от функционального качества ИИ-Сервисов, диагностической точности (уровень ложноположительных находок), а также уровня практических навыков врачей по применению технологий компьютерного зрения. Данный феномен требует дальнейшего углубленного изучения.

Таким образом, применение ИИ-Сервисов может положительно влиять на производительность труда врачей-рентгенологов, однако выраженность и достоверность этого влияния зависит от вида клинического сценария, модальности и условий оказания медицинской помощи.

Оценка качества и надежности работы ИИ-Сервисов

Оценка качества и надежности работы ИИ-Сервисов была проведена методом технологического мониторинга участвующих в эксперименте продуктов. За период исследования эта процедура была проведена 161 раз. На разных этапах у различных ИИ-Сервисов фиксировались принципиально разные уровни дефектов

каждой из групп (табл. 7). Наиболее частой проблемой было превышение предусмотренного нормативного времени обработки одного исследования — 21,3% (норматив по условиям исследования — 10 мин.). Успешно справились с задачей проведения анализа исследований в установленные временные нормативы 65% ИИ-Сервисов.

Достаточно часто полученные результаты работы ИИ-Сервиса представляли собой искаженные, ошибочные, неполные данные, целостность их была нарушена вплоть до негативного влияния на безопасность пациента и работу врача-рентгенолога. Средний уровень таких дефектов составлял 17,1%. В среднем в 5,0% ситуаций исследования были переданы для обработки в ИИ-Сервис, но не вернулись в ЕРИС ЕМИАС с результатами обработки.

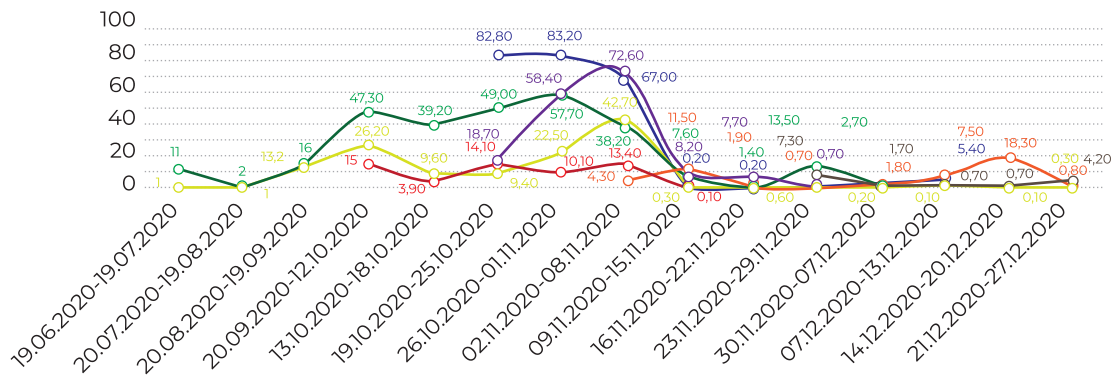
Удельный вес технологических дефектов значительно колебался в ходе Эксперимента. Подавляющее большинство компаний-участников занимало активную позицию, оперативно и скрупулезно работало над постоянным улучшением своих программных решений. Поэтому была изучена оценка работы каждого ИИ-Сервиса в динамике (Рис. 4).

Наиболее показательна ситуация с дефектом «а» — превышением нормативного времени обработки исследования. В начальном периоде отмечаются значительные колебания, ИИ-Сервисы работают нестабильно. Затем, по мере стандартизации принципов работы, внедрения требований по клиническому контексту их применения, ситуация стабилизируется. Уровень дефектов снижается, в большинстве случаев укладывается в допустимые условия исследования пределы. Аналогична ситуация для дефектов группы «б»: совершенствование собственных программных решений обеспечило

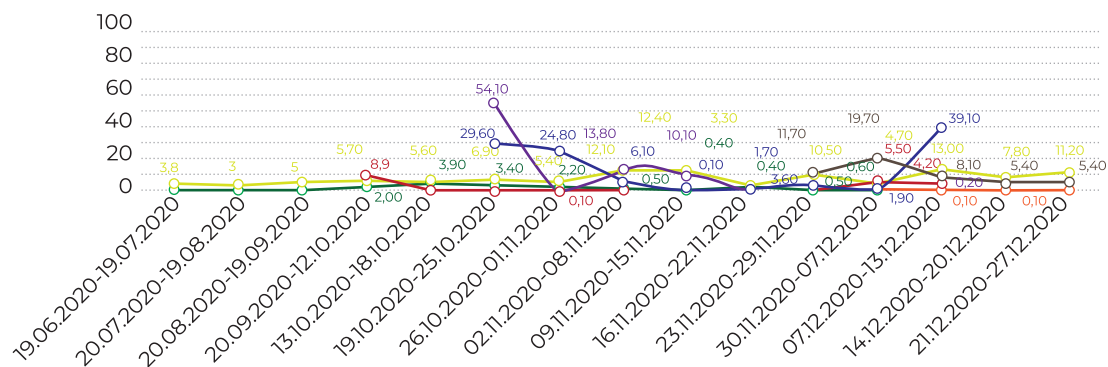
Таблица 7 — Удельный вес технологических дефектов ИИ-Сервисов

Группа дефектов	Удельный вес (%)		
	Среднее значение	95% ДИ	Диапазон значений
Группа «а» — превышение норматива времени обработки исследования	21,3	(17,2; 25,5)	0,0–93,0
Группа «б» — отсутствие результатов работы ИИ-Сервиса	5,0	(3,4; 6,6)	0,0–89,2
Группа «б–г» / «в–е» — дефекты, связанные с представлением результатов исследования	17,1	(13,2; 20,1)	0,0–100,0

Модальность: КТ COVID-19. Динамика удельного веса дефекта «а», %



Модальность: КТ COVID-19. Динамика удельного веса дефекта «б», %



Модальность: КТ COVID-19. Динамика удельного веса дефекта «а»-«е», %

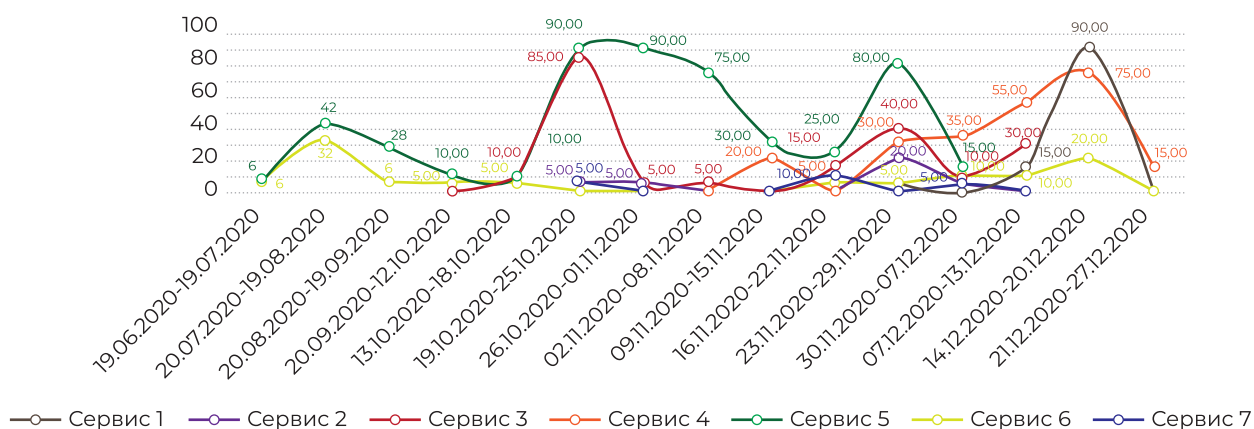


Рисунок 4 — Динамика технологических дефектов ИИ-Сервисов на примере задачи выявления признаков новой коронавирусной инфекции на результатах компьютерной томографии органов грудной клетки.

стабилизацию работы ИИ-Сервисов. Частота отсутствия результатов обработанных исследований в ЕРИС ЕМИАС минимизировалась. К сожалению, для дефектов групп «в-е», связанных с искажением и нарушением целостности данных, ситуация в целом была негативной, отмечены значительные колебания.

При анализе результатов технологического мониторинга выявлен тренд на снижение удельного веса дефектов, что отражает эволюцию ИИ-Сервисов во время исследования. Тем не менее, полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования аппаратно-программного обеспечения, а также математических моделей ИИ-Сервисов.

ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с методологией и дизайном исследования была оценена целесообразность применения ИИ-Сервисов в лучевой диагностике по предусмотренным аспектам (табл. 1). Результаты представлены в таблице 8.

Несмотря на стремительный рост инвестиций и числа научных публикаций, реальное внедрение технологий ИИ в сфере лучевой диагностики остается ограниченным [10]. Сложным вопросом остается технологическая интеграция, учитывающая клинические аспекты и безопасность. В настоящее время предложены лишь решения для системной интеграции алгоритмов ИИ в информационные системы на уровне отдельно взятой

Таблица 8 — Оценки целесообразности применения ИИ-Сервисов в соответствии с методикой исследования

Аспект	Гипотезы
Приемлемость	Общая вовлеченность врачей-рентгенологов в Эксперимент составила 22,4%. Внедрение и активное использование ИИ-Сервисов изменили отношение врачей к данному виду технологий с позиций их влияния на производительность и качество работы: имеет место переход от крайних оценок к нейтральным, умеренным. Изменилась структура опасений. Выявлен запрос со стороны врачебного сообщества на предоставление большего объема научной доказательной информации о технологиях ИИ. ИИ-Сервисы представляют собой приемлемую, но по-прежнему недостаточно изученную с точки зрения реальной эффективности технологию
Спрос	Подтверждено наличие реального спроса на использование ИИ-Сервисов у врачей-рентгенологов. Количество активных пользователей ИИ-Сервисов колебалось от 323 до 1054. За период исследования наблюдалось плавное нарастание количества активных пользователей в течение 5 месяцев, затем появились признаки выхода на плато в течение 2 месяцев. Требуется развитие методической базы для применения ИИ в решении более конкретных клинических задач, формирование системы финансирования (тарифов в системе обязательного медицинского страхования)
Реализация	В условиях интеграции в радиологическую информационную систему субъекта РФ 65,0% ИИ-Сервисов обеспечивают анализ результатов лучевых исследований в соответствии с установленными временными нормативами. Исходя из анализа результатов технологического мониторинга нулевая гипотеза $H_0: \{ \text{Уровень дефектов типа «а» и/или «б» и/или «в» и/или «г» и/или «д» и/или «е» > 10\% \}$ принята для групп дефектов «в-е», отклонена для групп дефектов «а» и «б»
Осуществимость	По результатам объективного исследования (хронометража) длительности описаний результатов лучевых исследований врачами-рентгенологами нулевая гипотеза $H_0: \{ \text{Снижение длительности описания результатов лучевых исследований при работе ИИ-Сервисов < 30\% \}$ отклонена для описания результатов профилактической маммографии; для остальных ситуаций — принята. Достоверно снижается длительность подготовки описаний результатов профилактической маммографии в амбулаторном звене на 15,0% ($p = 0,03$), в стационарном звене — на 50,0% ($p = 0,05$). Длительность описаний результатов КТ/низкодозной КТ для выявления злокачественных новообразований легких достоверно увеличивается на 42,0% ($p = 0,04$). Разнонаправленный и парадоксальный характер влияния ИИ-Сервисов на производительность труда врачей-рентгенологов требует дальнейшего углубленного изучения с учетом разных клинических сценариев, форм, видов и условий оказания медицинской помощи

Таблица 8 — Оценки целесообразности применения ИИ-Сервисов в соответствии с методикой исследования (продолжение)

Аспект	Гипотезы
Интеграция	На момент окончания исследования приступили к работе в условиях реальных производственных процессов службы лучевой диагностики 46,0% (18) ИИ-Сервисов. Остальные находятся на этапе интеграции в тестовый контур. Отчасти это вызвано временным ограничением — фактический средний срок технологической интеграции составляет 65±34 дней. Не менее 78,0% инженерного персонала компаний-разработчиков имеет достаточный уровень квалификации. Большая часть компаний работает интенсивно и проактивно, быстро адаптируя собственные разработки к установленным стандартам и требованиям
Способность к адаптации	В условиях начавшейся в 2020 г. пандемии COVID-19 заявки на участие в исследовании были дополнительно поданы от 15 ИИ-Сервисов по выявлению COVID-19. Из них 47,0% успешно интегрировались с ЕРИС ЕМИАС, прошли все предусмотренные процедуры и приступили к работе с потоком исследований. При технологическом мониторинге именно для ИИ-Сервисов, работающих по модальности КТ COVID, наиболее часто отмечены положительные тенденции оперативной доработки и снижения уровня дефектов. Отмечается высокая способность к адаптации и развитию разработчиков ИИ-Сервисов, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций

медицинской организации. При этом используются специальные программные разработки на основе открытого кода. Результативность подобных интеграций подтверждается «включением» алгоритмов в производственные процессы отделений лучевой диагностики и высокой скоростью обработки тестовых наборов данных [11]. Наше исследование выгодно отличается внедрением технологий ИИ на уровне целой административно-территориальной единицы — в сети из нескольких сотен медицинских организаций г. Москвы.

Наши ключевые подходы по стандартизации технологической интеграции, в целом, совпадают с подходами иных авторов. В частности, для предоставления результатов работы алгоритмов ИИ врачу-рентгенологу мы применяем структурированный отчет в формате DICOM-SR. Также предусмотрена функция обратной связи от врача для оценки точности работы алгоритмов. Ряд авторов придерживается аналогичной практики, применяя DICOM-SR и техническое решение по обратной связи для коммуникаций врачей и разработчиков [12; 13].

В литературе отмечено, что функции сортировки (триажа) результатов лучевых исследований для приоритизации описаний, выявления и маркировки признаков патологии, подготовки шаблонов описаний могут потенциально повлиять на качество и производительность труда врачей-рентгенологов. Однако, доказательств

в пользу таких утверждений не приводится [14; 15]. В нашем исследовании получены убедительные количественные аргументы в пользу реального сокращения сроков подготовки описания по определенным модальностям.

Нами выявлена положительная динамика отношения врачей-рентгенологов к технологиям ИИ. Общая их вовлеченность в применение соответствующих решений составила 22,4%. В целом, это соответствует международным данным. При опросе 675 респондентов из 39 стран Евразии и Северной Америки установлено, что порядка 20% врачей-рентгенологов и радиологов уже используют те или иные инструменты ИИ в своей работе [16].

Важно отметить, что множество публикаций на тему ИИ в лучевой диагностике по-прежнему сохраняют декларативный или описательный характер [17]. Остается не изученным вопрос практического осуществления контроля качества работы алгоритмов ИИ, интегрированных в медицинские информационные системы. На этом фоне нами предложена оригинальная методология, включающая пошаговое тестирование ИИ-Сервисов на этапах интеграции и мониторинг при рутинном применении. Методология доказала свою валидность, став основой Московского Эксперимента по компьютерному зрению в лучевой диагностике.

ОГРАНИЧЕНИЯ

В исследование были включены данные, полученные в течение первого года Московского Эксперимента. Анализ диагностической точности ИИ-Сервисов представлен в иной публикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ проведенного исследования позволяет сделать вывод о целесообразности применения ИИ-Сервисов в лучевой диагностике для повышения производительности труда врачей-рентгенологов, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций. Вместе с этим

необходимо введение обоснованных нормативных требований к показателям работы ИИ-Сервисов, включая стандартизированные показатели точности и временные нормативы обработки медицинских данных. Требуется развитие научных и методических основ применения ИИ в лучевой диагностике (в том числе для решения конкретных клинических задач) на принципах доказательной медицины. Перспективным представляется разработка системы медицинских услуг, оказываемых с применением ИИ-Сервисов и финансируемых за счет средств системы обязательного медицинского страхования.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018; 18(8): 500-510. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5.
2. Born J, Beymer D, Rajan D, et al. On the role of artificial intelligence in medical imaging of COVID-19. *Patterns*. Volume 2. ISSUE 6. 100269. June 11. 2021. doi: 10.1016/j.patter.2021.100269.
3. Kakileti ST, Madhu HJ, Krishnan L, et al. Observational Study to Evaluate the Clinical Efficacy of Thermalytix for Detecting Breast Cancer in Symptomatic and Asymptomatic Women. *JCO Glob Oncol*. 2020. Oct. 6: 1472-1480. doi: 10.1200/GO.20.00168.
4. Методика разработки норм времени и нагрузки медицинского персонала. — М.: ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения», 2013. — 25 с. [Methodology for the development of norms of time and workload of medical personnel. Moscow: Federal Research Institute for Health Organization and Informatics of Ministry of Health of the Russian Federation, 2013. 25 p. (In Russ).]
5. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, et al. For the STARD Group. STARD 2015: An Updated List of Essential Items for Reporting Diagnostic Accuracy Studies. *Radiology*. 2015; 277(3): 826-832. doi: 10.1148/radiol.2015151516.
6. Морозов С.П., Владимирский А.В., Гомболевский В.А. и др. Искусственный интеллект в скрининге рака легкого: оценка диагностической точности алгоритма для анализа низкодозовых компьютерных томографий // Туберкулез и болезни легких. — 2020. — Т.98. — №8. — С.24-31. [Morozov SP, Vladimirovskiy AV, Gombolevskiy VA, et al. Artificial intelligence in lung cancer screening: assessment of the diagnostic accuracy of the algorithm analyzing low-dose computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020; 98(8): 24-31. (In Russ).] doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31.
7. Kaka H, Zhang E, Khan N. Artificial Intelligence and Deep Learning in Neuroradiology: Exploring the New Frontier. *Can Assoc Radiol J*. 2020. Sep 18; 846537120954293. doi: 10.1177/0846537120954293.
8. Schoonenboom J., Johnson R.B. How to Construct a Mixed Methods Research Design. *Kolner Z Soz Sozpsychol*. 2017; 69(2): 107-131. doi: 10.1007/s11577-017-0454-1.
9. Wu G, Yang P, Xie Y, et al. Development of a clinical decision support system for severity risk prediction and triage of COVID-19 patients at hospital admission: an international multicentre study. *Eur Respir J*. 2020; 56(2): 2001104. doi: 10.1183/13993003.01104-2020.
10. Jalal S, Parker W, Ferguson D, Nicolaou S. Exploring the Role of Artificial Intelligence in an Emergency and Trauma Radiology Department. *Can Assoc Radiol J*. 2021 Feb; 72(1): 167-174. doi: 10.1177/0846537120918338.

11. Sohn JH, Chillakuru YR, Lee S, et al. An Open-Source, Vendor Agnostic Hardware and Software Pipeline for Integration of Artificial Intelligence in Radiology Workflow. *J Digit Imaging*. 2020 Aug; 33(4): 1041-1046. doi: 10.1007/s10278-020-00348-8.
12. Blezek DJ, Olson-Williams L, Missert A, Korfiatis P. AI Integration in the Clinical Workflow. *J Digit Imaging*. 2021 Dec; 34(6): 1435-1446. doi: 10.1007/s10278-021-00525-3.
13. Kapoor N, Lacson R, Khorasani R. Workflow Applications of Artificial Intelligence in Radiology and an Overview of Available Tools. *J Am Coll Radiol*. 2020 Nov; 17(11): 1363-1370. doi: 10.1016/j.jacr.2020.08.016.
14. Davendralingam N, Sebire NJ, Arthurs OJ, Shelmerdine SC. Artificial intelligence in paediatric radiology: Future opportunities. *Br J Radiol*. 2021 Jan 1; 94(1117): 20200975. doi: 10.1259/bjr.20200975.
15. Ginat DT. Analysis of head CT scans flagged by deep learning software for acute intracranial hemorrhage. *Neuroradiology*. 2020 Mar; 62(3): 335-340. doi: 10.1007/s00234-019-02330-w.
16. Codari M, Melazzini L, Morozov SP, et al. Impact of artificial intelligence on radiology: a EuroAIM survey among members of the European Society of Radiology. *Insights Imaging*. 2019 Oct 31; 10(1): 105. doi: 10.1186/s13244-019-0798-3.
17. Yang L, Ene IC, Arabi Belaghi R, et al. Stakeholders' perspectives on the future of artificial intelligence in radiology: a scoping review. *Eur Radiol*. 2022 Mar; 32(3): 1477-1495. doi: 10.1007/s00330-021-08214-z.