

ВАСИЛЬЕВ Ю.А.,

к.м.н., Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия, e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

ВЛАДИМИРСКИЙ А.В.,

д.м.н., Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

БОНДАРЧУК Д.В.,

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия, e-mail: BondarchukDV@zdrav.mos.ru

КОЖИХИНА Д.Д.,

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия, e-mail: d.kozhikhina@npcmr.ru

РЕШЕТНИКОВ Р.В.,

к.ф.-м.н., Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия, e-mail: r.reshetnikov@npcmr.ru

БЛОХИН И.А.,

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия, e-mail: BlokhinIA@zdrav.mos.ru

СОЛОВЬЁВ А.В.,

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия. e-mail: a.solovev@npcmr.ru

ГАТИН Д.В.,

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
г. Москва, Россия. e-mail: GatinDV@zdrav.mos.ru

ЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ДЕФЕКТОВ В РАБОТЕ ВРАЧА-РЕНТГЕНОЛОГА

DOI: 10.25881/18110193_2023_2_16

Аннотация.

Актуальность. В настоящее время в лучевой диагностике реализована технологическая возможность применения систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) на основе технологий искусственного интеллекта, интегрированных в медицинские информационные системы медицинских организаций и/или информационные системы в сфере здравоохранения субъектов РФ. Наличие системы контроля качества лучевой диагностики создаёт возможность оценить влияние СППВР на качество медицинской помощи. При этом актуальна проблема оценки недопущения дефектов при интерпретации результатов лучевых исследования благодаря использованию интеллектуальных СППВР.

Цель исследования. Оценка применимости систем поддержки принятия врачебных решений на основе технологий искусственного интеллекта (ТИИ) для профилактики дефектов в работе врача-рентгенолога.

Материалы и методы. Ретроспективное обсервационное исследование. Критерии включения: (i) исследования компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки, первично описанные врачами-рентгенологами и проанализированные с помощью ТИИ; (ii) во время ретроспективного пересмотра в рамках мероприятий по контролю качества выявлено наличие клинически значимых расхождений между врачом-рентгенологом и проверяющим экспертом.

Результаты. Всего проанализировано 12572 результатов КТ, из которых 4949 КТ органов грудной клетки. Полное соответствие по результатам пересмотра отмечено в 61,4% случаев, клинически значимые расхождения — в 2,8%. Выделено 15 исследований с клинически значимыми расхождениями и релевантными результатами работы ТИИ. В 60% случаев врачом-рентгенологом пропущены признаки пневмонии; в 33,0% зарегистрирован пропуск солидного или полусолидного очага легкого диаметром более 5 мм. Однократно не описан кальциноз коронарных артерий. Во всех указанных случаях ТИИ были выявлены и отмечены патологические находки, пропущенные при первичном описании, но указанные проводившим пересмотр врачом-экспертом.

Заключение. Использование ТИИ позволяет не допустить пропуски значимой патологии на этапе первичного описания результатов лучевых исследований. Системы искусственного интеллекта могут выступать в качестве средства профилактики дефектов в работе врача-рентгенолога.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, компьютерная томография, контроль качества, аудит.

Для цитирования: Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Бондарчук Д.В., Кожихина Д.Д., Решетников Р.В., Блохин И.А., Соловьев А.В., Гатин Д.В. Значение технологий искусственного интеллекта для профилактики дефектов в работе врача-рентгенолога. *Врач и информационные технологии.* 2023; 2: 16-27. doi: 10.25881/18110193_2023_2_16.

VASILEV YU.A.,

PhD, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

VLADZYMYRSKY A.V.,

DSc, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

BONDARCHUK D.V.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: BondarchukDV@zdrav.mos.ru

KOZHICHINA D.D.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: d.kozhikhina@npcmr.ru

RESHETNIKOV R.V.,

PhD, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: r.reshetnikov@npcmr.ru

BLOKHIN I.A.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: BlokhinIA@zdrav.mos.ru

SOLOVEV A.V.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: a.solovev@npcmr.ru

GATIN D.V.,

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: GatinDV@zdrav.mos.ru

IMPORTANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES TO PREVENT DEFECTS IN RADIOLOGIST'S PRACTICE

DOI: 10.25881/18110193_2023_2_16

Abstract.

Background. Presently, in diagnostic radiology, it is possible to use clinical decision support systems (CDSS) based on artificial intelligence technologies. These systems are integrated into medical information systems and/or federal health care information systems of the Russian Federation. The availability of a quality control system for diagnostic radiology enables impact evaluation of AI-based CDSS in the medical care. Moreover, the challenge of defect prevention in radiology with such CDSS is relevant.

Aim. To evaluate the use of decision support systems based on artificial intelligence (AI) for preventing defects in the radiologist's work.

Methods. Retrospective observational study. Inclusion criteria: (i) chest computed tomography (CT) reported by radiologists and subsequently analyzed by AI; (ii) clinically relevant discrepancies between radiologist and expert identified at the time of retrospective quality control.

Results. 12 572 CT scans were reviewed, including 4949 chest CT scans. Complete agreement according to the audit results was observed in 61.4% of cases, clinically significant discrepancies in 2.8%. 15 studies with clinically significant discrepancies and relevant AI results were identified. In 60% of cases a radiologist missed signs of pneumonia; in 33.0% of cases a solid or subsolid lung nodule (>5 mm) was undetected. Coronary artery calcification was not reported once. In all cases pathological findings had not been reported initially, but were found during the audit and by AI algorithms.

Conclusion. AI-based decision support systems ensure that significant pathology is not missed during the initial imaging study reporting. Therefore, AI system could act as a means of preventing defects in the work of the radiologist.

Keywords: artificial intelligence technologies, computed tomography, quality control, audit.

For citation: Vasilev Yu.A., Vladzimirskyy A.V., Bondarchuk D.V., Kozhikhina D.D., Reshetnikov R.V., Blokhin I.A., Solovev A.V., Gatin D.V. Importance of artificial intelligence technologies to prevent defects in radiologist's practice. Medical doctor and information technology. 2023; 2: 16-27. doi: 10.25881/18110193_2023_2_16.

ВВЕДЕНИЕ

Обязательным компонентом системы здравоохранения служит совокупность мер по контролю безопасности и качества медицинской помощи. В сфере лучевой диагностики основным инструментом реализации таких мер является ретроспективный пересмотр и анализ результатов лучевых исследований. Суть его состоит в случайном отборе результатов выполненных за некий период исследований, пересмотре изображений и заключений врачом-экспертом. Такая методика широко известна и применяется во всем мире, причем как на уровне отделений, так и на уровне сетей медицинских организаций [1–4]. В г. Москве ретроспективный анализ результатов рентгенорадиологических исследований, как система непрерывного улучшения качества, внедрен во всех государственных медицинских организациях. ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ» (ГБУЗ г. Москвы «НПКЦ ДиТ ДЗМ») обеспечивает постоянное проведение пересмотров, формирование рейтингов и организационно-образовательную деятельность по устранению выявленных недостатков. Технологической основой для этой работы служит Единый радиологический информационный сервис автоматизированной информационной системы города Москвы «Единая медицинская информационно-аналитическая система города Москвы» (ЕРИС ЕМИАС). Научно обоснованная и проверенная практикой методология ретроспективного анализа оформлена в виде методических рекомендаций, утвержденных Департаментом здравоохранения Москвы [5]. Детали и результаты этой работы были опубликованы ранее: система пересмотра результатов лучевых исследований в совокупности с индивидуализированными мероприятиями по улучшению качества позволяет статистически значимо снижать количество клинически значимых расхождений; таким образом реализуется постоянный цикл улучшения [6].

Непрерывное улучшение качества реализуется совокупностью подходов и методик, среди которых — как по нашему опыту, так и по мнению иных авторов — всё более весомое место занимают цифровые технологии [7]. В самых разных сферах жизнедеятельности и, конечно же, в здравоохранении автоматизация

и информатизация позволяют снизить количество ошибок, дефектов, различных несовершенств. Большие ожидания связаны с автоматизацией на основе технологий искусственного интеллекта (ТИИ). С 2020 г. в г. Москве осуществляется крупнейшее в мире перспективное научное исследование применимости и качества ТИИ в лучевой диагностике — «Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы» (далее — Московский Эксперимент) (mosmed.ai) [8]. В процессе Эксперимента результаты лучевых исследований по разным модальностям обрабатываются программным обеспечением на основе ТИИ, интегрированным в Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС). Результаты анализа в сопровождении исчерпывающей образовательной и справочной информации становятся доступными на автоматизированных рабочих местах врачей-рентгенологов в виде дополнительной серии изображений с маркировкой обнаруженных патологий и проекта описания (DICOM SR). По условиям Эксперимента использование результатов работы ТИИ врачами-рентгенологами является сугубо добровольным. Врач может вовсе не обращать на них внимание, использовать полностью или частично — исключительно по собственному усмотрению.

В силу вспомогательного характера результатов ТИИ, их можно рассматривать как систему поддержки принятия врачебных решений (СППВР) для врачей-рентгенологов. В соответствии с действующими Правилами проведения рентгенологических исследований (утверждены приказом МЗ РФ от 09.06.2020 №560н) при выполнении рентгенологических исследований рекомендуется использование СППВР, интегрированных с медицинскими информационными системами медицинских организаций (МО). История развития СППВР насчитывает несколько десятилетий и, в целом, представляет собой объект отдельного научного исследования. Отметим, что этот эволюционный процесс включал в себя развитие различных математических принципов и подходов для решения тех или иных

клинических задач [9]. В настоящее время универсальной основой для СППВР, во всяком случае в сфере медицинской визуализации, служат технологии искусственного интеллекта (ТИИ), точнее — различные варианты нейронных сетей, обеспечивающих распознавание изображений (компьютерное зрение) [10]. Технологии искусственного интеллекта достаточно эффективно выступают в качестве систем поддержки принятия врачебных решений для врачей-рентгенологов. Несмотря на вариабельность качества индивидуальных программных продуктов-участников Эксперимента, лучшие алгоритмы способны эффективно выполнять задачи по сортировке (приоритизации) исследований в рабочем списке врача-рентгенолога, обнаружения и маркировки определенных патологических проявлений на изображениях, расчета вероятности наличия патологии, формирования проекта заключения [8, 11].

Таким образом, в настоящее время в сфере лучевой диагностики реализована технологическая возможность применения СППВР на основе ТИИ, интегрированных в медицинские информационные системы медицинских организаций и/или информационные системы в сфере здравоохранения субъектов РФ.

Наличие системы контроля качества лучевой диагностики, указанной выше, создаёт возможность оценить влияние СППВР на качество медицинской помощи. При этом мы хотим посмотреть на проблему обеспечения качества с позиции профилактики, то есть недопущения дефектов при интерпретации результатов лучевых исследований благодаря использованию интеллектуальных СППВР.

Цель исследования — оценить применимость систем поддержки принятия врачебных решений на основе технологий искусственного интеллекта для профилактики дефектов в работе врача-рентгенолога.

МЕТОДЫ

Выполнено наблюдательное исследование за период 01.01.2022 г. — 30.11.2022 г.

Из ЕРИС ЕМИАС отобраны результаты компьютерной томографии, первично описанные врачами-рентгенологами, проанализированные ТИИ и прошедшие пересмотр

врачами-экспертами в рамках мероприятий по контролю качества. Критерии включения:

- пол мужской или женский, возраст старше 18 лет;
- модальность, анатомическая область: компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки;
- в ЕРИС ЕМИАС содержатся результаты компьютерной томографии и их описание;
- результаты компьютерной томографии обработаны технологиями искусственного интеллекта в рамках Эксперимента по компьютерному зрению;
- результаты компьютерной томографии подверглись ретроспективному анализу в рамках мероприятий по контролю качества, при этом выявлены клинически значимые расхождения;
- патологические признаки, обусловившие клинически значимые расхождения, предусмотрены базовыми диагностическими требованиями к ТИИ (могут быть выявлены при автоматизированном анализе).

Методологией Московского Эксперимента предусмотрено формирование базовых диагностических требований (БДТ) к результатам работы ТИИ. Фактически, это правила, определяющие для каждого вида исследований какие именно патологические проявления должны быть выявлены, как они должны быть измерены, классифицированы, описаны программным обеспечением на основе ТИИ. Наличие БДТ обеспечивает стандартизацию работы ТИИ в рамках информационной системы в сфере здравоохранения субъекта РФ, коей и является ЕРИС ЕМИАС. В настоящей работе рассматривали только те исследования и патологии, по которым могли предоставить своё мнение как врач-рентгенолог, так и ТИИ.

Оценка качества проведенных лучевых исследований осуществлялась в рамках рутинных производственных процессов ГБУЗ г. Москвы «НПКЦ ДиТ ДЗМ» по ранее опубликованной методологии. В ходе пересмотра выявляются проблемы, связанные с работой оборудования, рентгенолаборанта и врача-рентгенолога. По итогам проверяемое исследование может быть отнесено врачом-экспертом к одной из следующих категорий: полное соответствие, замечания общего характера, дефекты (работа оборудования,

рентгенолаборанта), клинически незначимые, клинически значимые расхождения [5]. Именно последняя категория, прямым образом характеризующая качество работы врача, представляет основной интерес для данного исследования.

Включенные исследования проанализированы на основе следующего положения. Патологический признак, предусмотренный БДТ, был выявлен ТИИ и врачом-экспертом в рамках планового контроля качества, но пропущен врачом-рентгенологом, выполнявшим первичное описание. Соответственно, такой признак послужил причиной клинически значимого расхождения при интерпретации результатов данного лучевого исследования.

Использованы описательные методы статистики.

Исследование выполнено в рамках Московского Эксперимента, одобренного Независимым этическим комитетом МРО РОПР (протокол 2/2020 от 20.02.2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего за период проведено 12572 ретроспективных анализов результатов компьютерной томографии всех анатомических локализаций, в том числе, 4949 — КТ органов грудной клетки. В целом, полное соответствие определено в 61,4%

(7719) случаев, клинически значимые расхождения выявлены — в 2,8% (355). Из числа случаев с выявленными клинически значимыми расхождениями 277 (78,0%) составили исследования органов грудной клетки.

В соответствии с критериями включения, выявлено 16 исследований с клинически значимыми расхождениями и релевантными результатами работы ТИИ (Рис. 1), что составляет 5,4% от числа случаев КТ органов грудной клетки с клинически значимыми расхождениями.

В большинстве случаев имел место пропуск врачом-рентгенологом признаков пневмонии (в том числе, участков изменений по типу «матового стекла») — 57,0% (9); реже встречался пропуск солидного или полусолидного очага легкого диаметром более 5 мм — 31,0% (5). Однократно имели место пропуски аневризмы грудного отдела аорты и кальциноза коронарных артерий — по 6,0%. Клинические примеры приведены на рис. 2–5.

Во всех указанных случаях ТИИ были выявлены и маркированы на изображениях дополнительной серии патологические находки, пропущенные при первичном описании, но указанные проводившим пересмотр врачом-экспертом. Именно эти патологические находки и обусловили клинически значимые расхождения между первичной и экспертной интерпретацией.

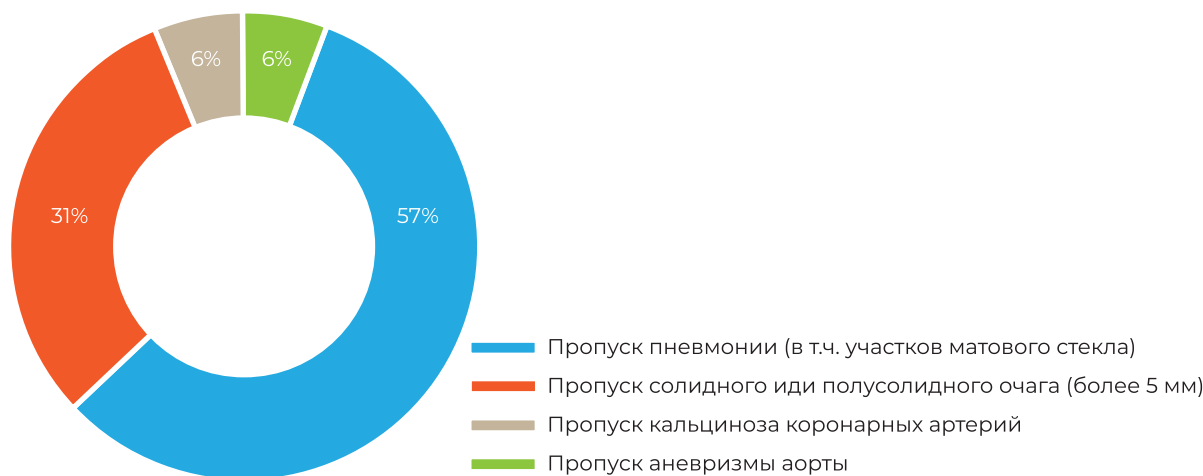


Рисунок 1 — Удельный вес причин клинически значимых расхождений (патологические находки были пропущены врачом-рентгенологом, но выявлены при автоматизированном анализе и при пересмотре исследований врачом-экспертом).

В 6 случаях на изображениях присутствовала иная патология, в том числе, не выявленная при первичном описании и обусловившая клинически значимые расхождения (образования надпочечников, щитовидной железы,

деформация грудной клетки). Однако, такие патологические изменения не были предусмотрены базовыми диагностическими требованиями и, соответственно, не выявлялись ТИИ.

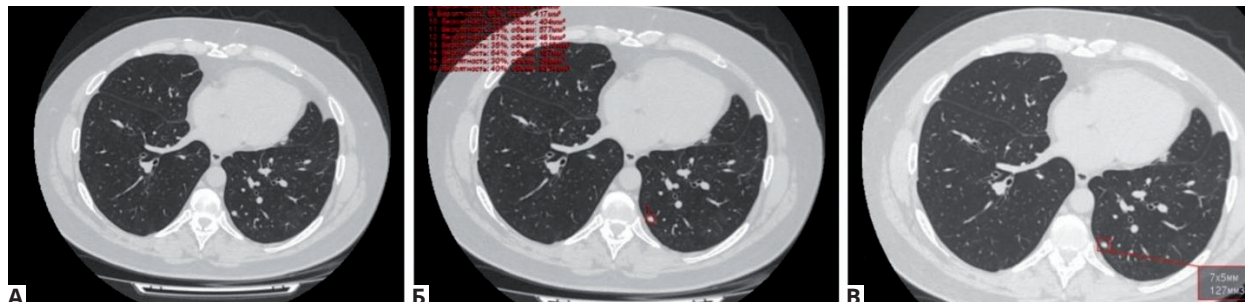


Рисунок 2 — Мужчина, 60 лет: А — исходное изображение, пропущен очаг в С10 левого легкого. Б, В — обработка программным обеспечением на основе ТИИ разных производителей, выявлен пропущенный очаг в С10.

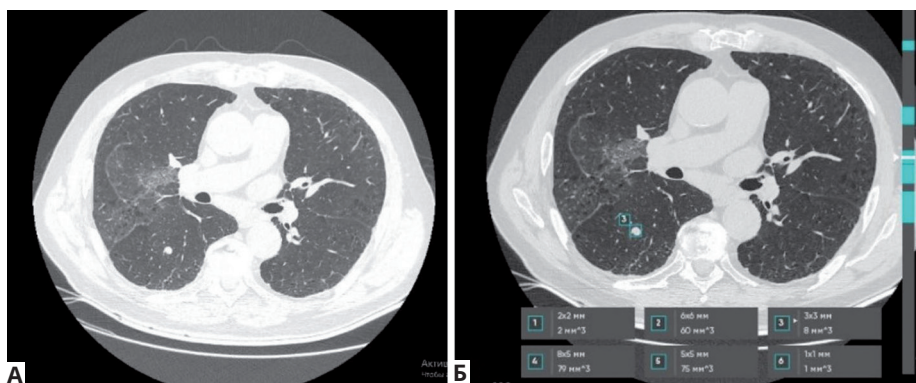


Рисунок 3 — Мужчина, 75 лет. А — исходное изображение, пропущен очаг в С10 правого легкого. Б — обработка программным обеспечением на основе ТИИ, выявлен пропущенный очаг в С10.

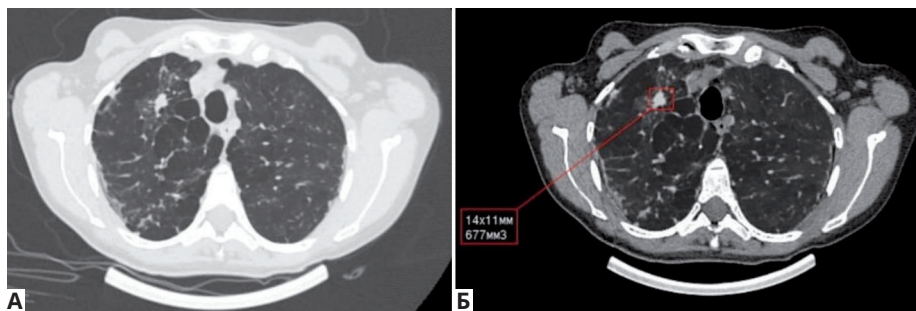


Рисунок 4 — Женщина, 33 года. А — исходное изображение, пропущен очаг в С1 правого легкого. Б — обработка программным обеспечением на основе ТИИ, выявлен пропущенный очаг в С1.

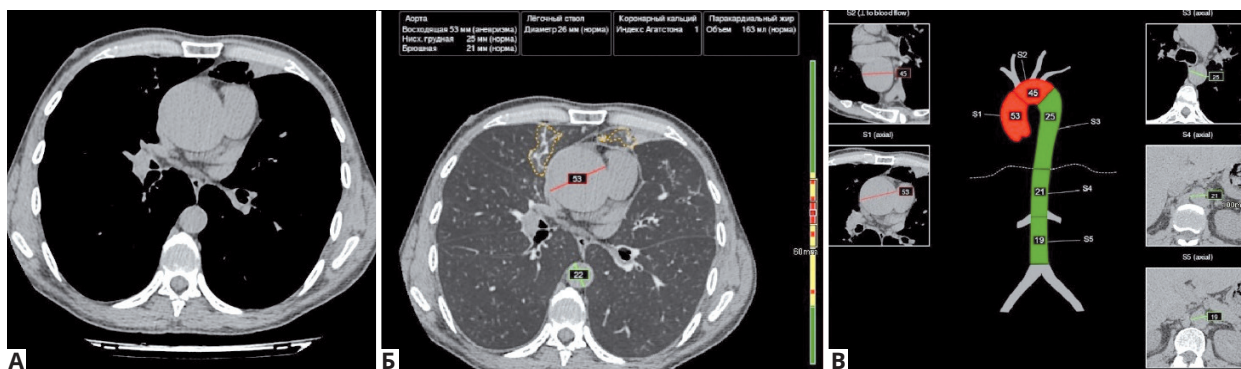


Рисунок 5 — Мужчина, 42 года. А — исходное изображение, пропущена аневризма грудного отдела аорты. Б, В — обработка программным обеспечением на основе ТИИ, выявлена пропущенная аневризма.

ОБСУЖДЕНИЕ

В научной литературе приводятся различные значения удельного веса расхождений и дефектов, выявляемых при пересмотрах результатов лучевых исследований. Подобные колебания обусловлены отсутствием единой, общепринятой методологии пересмотров, а также классификации методик [12–14]. Разработанная ранее в ГБУЗ г. Москвы «НПКЦ ДиТ ДЗМ» методология позволила унифицировать многие аспекты проверочных мероприятий, сделать пересмотры «прозрачным» и универсальным инструментом. Неотъемлемой частью пересмотров, проводимых в службе лучевой диагностики г. Москвы, являются мероприятия по улучшению качества. По итогам проверок проводится информирование и персонализированное обучение врачей-рентгенологов и рентгенолаборантов, реже — настройки оборудования. Такой подход обуславливает снижение удельного веса клинически значимых расхождений примерно на 50% в год в показателях наглядности [6]. Безусловно, мероприятия по улучшению качества должны носить непрерывный характер, что подтверждается и литературными данными, и нашим собственным опытом [15–17].

В сфере применения ТИИ в лучевой диагностике, как нами, так и иными авторами, обычно изучаются проблемы диагностической точности, технологической надежности, производительности труда. В меньшей степени изучены вопросы влияния ТИИ на качество диагностических решений. В основном, проводится сравнительный анализ точности ТИИ и врача-рентгенолога

или сравнение по схеме «врач+ТИИ vs врач» [18–23]. Рассчитываются стандартные метрики диагностической точности (площадь под характеристической кривой, чувствительность, специфичность и т.д.). Мы не отрицаем значимость таких исследований, более того, проводим их и сами [24]. Однако, в данной работе мы хотим предложить несколько иной подход.

В сфере медицинской визуализации основное внимание сфокусировано на поддержке врачебных решений относительно назначений тех или иных видов лучевых исследований. Для этого применяются разные подходы и методики: от унифицированных критериев и экономических обоснований до интегрированных в информационные системы справочников [25–28]. Второй по частоте изучения аспект — это роль врачей-рентгенологов в совместном принятии решений в сложных ситуациях, чаще всего в сфере онкологии [29, 30]. В отличие от приведенных стандартных подходов, мы концентрируем внимание на поддержке решений врача-рентгенолога при интерпретации и описании результатов лучевых исследований. При этом говорим о профилактике дефектов, о предотвращении клинически значимых пропусков благодаря применению технологий искусственного интеллекта в качестве СППВР.

Исходя из результатов нашего исследования можно утверждать, что существенная доля клинически значимых расхождений (5,4% для выборки настоящего исследования) могла бы быть предотвращена за счет применения СППВР на основе технологий искусственного интеллекта на этапе интерпретации и описания результатов

компьютерной томографии. Если рассматривать популяционный масштаб, то проанализированная нами выборка не велика. Однако, оценка может измениться, если руководствоваться пациенто-центричным подходом, врачебной этикой и правилом борьбы за жизнь каждого человека.

С другой стороны, все проверочные мероприятия проводятся на ограниченной выборке, что объективно обусловлено ограниченностью экспертных ресурсов. На плановый пересмотр попадает в среднем 5–7% от общего объема лучевых исследований. Соответственно, абсолютное количество случаев, содержащих клинически значимые дефекты интерпретации, больше, чем включено в наше исследование. Отсюда следует, что рутинное применение ТИИ как СППВР каждым врачом-рентгенологом вполне может иметь положительный эффект и на популяционном уровне.

Очевидно, что актуальными вопросами являются качество, надежность, скорость работы СППВР. В рамках Московского эксперимента установлены требования к скорости машинного анализа результатов лучевых исследований. Отсутствие жесткой регламентации этого показателя может полностью обесценить наличие СППВР, так как врач-рентгенолог будет описывать изображения раньше, чем в информационной системе появятся результаты работы ТИИ. В целом, нами ведется работа по развитию методологий и нормативного регулирования технических и клинических испытаний программного обеспечения на основе ТИИ, пострегистрационного мониторинга соответствующих медицинских изделий.

Отметим, что изучается возможность применения технологий искусственного интеллекта для контроля качества лучевых исследований. Ранее нами была показана возможность принципиального увеличения выборки для проверочных мероприятий за счет технологий распознавания естественного языка [31]. Thomas et al., 2022 представили схожий подход, состоящий в применении ТИИ для выявления исследований с потенциально пропущенной патологией. По мнению алгоритма ИИ, из 2573 результатов

КТ-ангиографии 0,5% содержали значимые пропуски патологии при интерпретации. Соответствующие исследования были проверены врачами-экспертами, которые в большинстве случаев подтвердили выводы машинного анализа ($k = 0,91$) [32].

Однако, мы хотим сфокусировать внимание на проблеме автоматизированной поддержки решений врача-рентгенолога, выполняющего первичную интерпретацию и описание результатов лучевых исследований. Использование ТИИ на этом участке производственного процесса позволяет, помимо всего прочего, не допустить пропуски значимой патологии; по-сути системы искусственного интеллекта выступают в качестве средства профилактики дефектов.

ВЫВОДЫ

При интерпретации и описании результатов лучевых исследований целесообразно использовать системы поддержки принятия врачебных решений на основе технологий искусственного интеллекта с целью профилактики пропуска клинически значимых патологических признаков. Соответствующие технологии должны быть реализованы в виде программного обеспечения, имеющего статус медицинского изделия и интегрированного с информационными системами в сфере здравоохранения.

Факт применения СППВР на основе ТИИ врачом-рентгенологом при описании результатов конкретного исследования может обсуждаться как потенциальный критерий качества оказания медицинской помощи, в контексте развития нормативно-правовой базы и юридической дискуссии о дефектах и ошибках врачебной деятельности.

Финансирование: Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обоснование моделей и способов организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий» (№ЕГИСУ: 123031400008-4).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Bruno MA. Extending the scope of quality and safety in radiology. *Radiology*. 2022; 302(3): 620-621. doi: 10.1148/radiol.2021212538.
2. Chetlen AL, Petscavage-Thomas J, Cherian RA, Ulano A, Nandwana SB, Curci NE, et al. Collaborative Learning in Radiology: From Peer Review to Peer Learning and Peer Coaching. *Academic Radiology*. 2020; 27: 1261-7. doi: 10.1016/j.acra.2019.09.021.

3. Кушнир К.В. Управление качеством в современных отделениях лучевой диагностики // Медицинская визуализация. — 2015. — №3. — С.133-137. [Kushnir KV. Quality of Management in the Modern Radiology Department. *Medical Visualization*. 2015; 3: 133-137. (In Russ.)]
4. Мелдо А.А. Разработка и оценивание процессов системы менеджмента качества в условиях отделения лучевой диагностики бюджетного специализированного медицинского учреждения // Лучевая диагностика и терапия. — 2018. — №1. — С.5-10. [Meldo AA. Development and evaluation of quality management processes in the radiology department of government specialized clinic. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2018; 1: 5-10. (In Russ.)] doi: 10.22328/2079-5343-2018-9-1-5-10.
5. Морозов С.П., Ветшева Н.Н., Ледихова Н.В. Оценка качества рентгенорадиологических исследований. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». — Вып. 48. — М., 2019. — 47 с. [Morozov SP, Vetsheva NN, Ledikhova NV. Quality assessment of radiology studies. Series "Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics". Vol. 47. M., 2019. 47 p. (In Russ.)]
6. Morozov S, Guseva E, Ledikhova N, Vladzimirskyy A, Safronov D. Telemedicine-based system for quality management and peer review in radiology. *Insights Imaging*. 2018; 9: 337-41. doi: 10.1007/s13244-018-0629-y.
7. Jabin MSR, Schultz T, Mandel C, Bessen T, Hibbert P, Wiles L, et al. A Mixed-Methods Systematic Review of the Effectiveness and Experiences of Quality Improvement Interventions in Radiology. *J Patient Saf*. 2022; 18: e97-107. doi: 10.1097/PTS.0000000000000709.
8. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента: Монография / Под ред. Ю.А. Васильева, А.В. Владимировского. — М.: Издательские решения, 2022. — 388 с. [Komp'yuternoe zrenie v luchevoj diagnostike: pervyj etap Moskovskogo eksperimenta: Monografiya. YU.A. Vasil'ev, A.V. Vladimirovskiy, editors. M.: Izdatel'skie resheniya, 2022. 388 p. (In Russ.)]
9. Гусев А.В., Владимировский А.В., Голубев Н.А., Зарубина Т.В. Информатизация здравоохранения Российской Федерации: история и результаты развития // Национальное здравоохранение. — 2021. — №2(3). — С.5-17. [Gusev AV, Vladzimirskyy AV, Golubev NA, Zarubina TV. Informatization of healthcare in the Russian Federation: history and results of development. *National Health Care (Russia)*. 2021; 2(3): 5-17. (In Russ.)] doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.3.5-17.
10. Kriegeskorte N, Golan T. Neural network models and deep learning. *Current Biology* 2019; 29: R231-6. doi: 0.1016/j.cub.2019.02.034.
11. Kelly BS, Judge C, Bollard SM, Clifford SM, Healy GM, Aziz A, et al. Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE). *Eur Radiol* 2022;32:7998-8007. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08784-6>.
12. Lee CS, Neumann C, Jha P, Baumgarten DA, Chu L, Surovitsky M, et al. Current Status and Future Wish List of Peer Review: A National Questionnaire of U.S. Radiologists. *American Journal of Roentgenology* 2020;214:493-7. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22194>.
13. Platts-Mills TF, Hendey GW, Ferguson B. Teleradiology Interpretations of Emergency Department Computed Tomography Scans. *The Journal of Emergency Medicine*. 2010; 38: 188-95. doi: 10.1016/j.jemermed.2008.01.015.
14. Schmidt E, Lo HS, Saghir A. Peer learning in emergency radiology: effects on learning, error identification, and radiologist experience. *Emerg Radiol*. 2022; 29: 655-61. doi: 10.1007/s10140-022-02040-6.
15. Ludwig DR, Strnad BS, Bierhals AJ, Mellnick VM. Implementation of a peer-learning program in an academic abdominal radiology practice and comparison with a traditional peer-review system. *Abdom Radiol*. 2022; 47: 2509-19. doi: 10.1007/s00261-022-03523-3.
16. Moriarity AK, Hawkins CM, Geis JR, Dreyer KJ, Kamer AP, Khandheria P, et al. Meaningful Peer Review in Radiology: A Review of Current Practices and Potential Future Directions. *Journal of the American College of Radiology*. 2016; 13: 1519-24. doi: 10.1016/j.jacr.2016.08.005.
17. Filice RW. Radiology-Pathology Correlation to Facilitate Peer Learning: An Overview Including Recent Artificial Intelligence Methods. *Journal of the American College of Radiology*. 2019; 16: 1279-85. doi: 10.1016/j.jacr.2019.05.010.
18. Homayounieh F, Digumarthy S, Ebrahimian S, Rueckel J, Hoppe BF, Sabel BO, et al. An Artificial Intelligence-Based Chest X-ray Model on Human Nodule Detection Accuracy From a Multicenter Study. *JAMA Netw Open*. 2021; 4: e2141096. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.41096.
19. Sheng K, Offersen CM, Middleton J, Carlsen JF, Truelsen TC, Pai A, et al. Automated Identification of Multiple Findings on Brain MRI for Improving Scan Acquisition and Interpretation Workflows: A Systematic Review. *Diagnostics*. 2022; 12: 1878. doi: 10.3390/diagnostics12081878.

20. Wu JT, Wong KCL, Gur Y, Ansari N, Karargyris A, Sharma A, et al. Comparison of Chest Radiograph Interpretations by Artificial Intelligence Algorithm vs Radiology Residents. *JAMA Netw Open*. 2020; 3: e2022779. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.22779.
21. Владимирский А.В., Кудрявцев Н.Д., Кожихина Д.Д., Шулькин И.М., Морозов С.П., Ледихова Н.В. и др. Эффективность применения технологий искусственного интеллекта для двойных описаний результатов профилактических исследований легких // Профилактическая медицина. — 2022. — №25(7). — С.7-15. [Vladymyrskyy AV, Kudryavtsev ND, Kozhikhina DD, Shulkin IM, Morozov SP, Ledikhova NV, et al. Effectiveness of using artificial intelligence technologies for dual descriptions of the results of preventive lung examinations. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2022; 25(7): 7-15. (In Russ.)] doi: 10.17116/profmed2022250717.
22. Морозов С.П., Владимирский А.В., Шулькин И.М., Ледихова Н.В., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е. и др. Целесообразность применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике (результаты первого года Московского эксперимента по компьютерному зрению) // Врач и информационные технологии. — 2022. — №1. — С.12-29. [Morozov SP, Vladymyrskyy AV, Shulkin IM, Ledikhova NV, Arzamasov KM, Andreychenko AE, et al. Feasibility of using artificial intelligence in radiation diagnostics. *Medical doctor and information technology*. 2022; 1: 12-29. (In Russ.)]
23. Морозов С.П., Гаврилов А.В., Архипов И.В., Долотова Д.Д., Лысенко М.А., Царенко С.В. и др. Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность описаний результатов компьютерной томографии пациентов с COVID-19 в стационарном звене здравоохранения // Профилактическая медицина. — 2022. — №25(1). — С.14-20. [Morozov SP, Gavrilov AV, Arkhipov IV, Dolotova DD, Lysenko MA, Tsarenko SV, et al. Effect of artificial intelligence technologies on the CT scan interpreting time in COVID-19 patients in inpatient setting. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2022; 25(1): 14-20. (In Russ.)] doi: 10.17116/profmed2022250114.
24. Гусев А.В., Владимирский А.В., Шарова Д.Е., Арзамасов К.М., Храмов А.Е. Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года // Digital Diagnostics. — 2022. — №3(3). — С.178-194. [Gusev AV, Vladymyrskyy AV, Sharova DE, Arzamasov KM, Khramov AE. Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021. *Digital Diagnostics*. 2022; 3(3): 178-194. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD107367.
25. Chan SS, Francavilla ML, Iyer RS, Rigsby CK, Kurth D, Karmazyn BK. Clinical decision support: the role of ACR Appropriateness Criteria. *Pediatr Radiol*. 2019; 49(4): 479-485. doi: 10.1007/s00247-018-4298-2.
26. Martinez G, Katz JM, Pandya A, Wang JJ, Boltyenkov A, Malhotra A, Mushlin AI, Sanelli PC. Cost-Effectiveness Study of Initial Imaging Selection in Acute Ischemic Stroke Care. *J Am Coll Radiol*. 2021; 18(6): 820-833. doi: 10.1016/j.jacr.2020.12.013.
27. Subramaniam RM, Kurth DA, Waldrip CA, Rybicki FJ. American College of Radiology Appropriateness Criteria: Advancing Evidence-Based Imaging Practice. *Semin Nucl Med*. 2019; 49(2): 161-165. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2018.11.011.
28. Шулькин И.М., Владимирский А.В. Управление на основе данных в лучевой диагностике: оценка результативности модели Единого радиологического информационного сервиса // Менеджер здравоохранения. — 2022. — №7. — С.68-80. [Shulkin IM, Vladymyrskyy AV. Data-based management in imaging: evaluation of the performance of a unified radiological information service model. *MZ*. 2022; 7: 68-80. (In Russ.)] doi: 10.21045/1811-0185-2022-7-68-80.
29. Cooper K, Heilbrun ME, Gilyard S, Vey BL, Kadam N. Shared Decision Making: Radiology's Role and Opportunities. *American Journal of Roentgenology*. 2020; 214: W62-6. doi: 10.2214/AJR.19.21590.
30. Woodhouse KD, Tremont K, Vachani A, Schapira MM, Vapiwala N, Simone CB, et al. A Review of Shared Decision-Making and Patient Decision Aids in Radiation Oncology. *J Canc Educ*. 2017; 32: 238-45. doi: 10.1007/s13187-017-1169-8.
31. Морозов С.П., Владимирский А.В., Гомболевский В.А., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В. Искусственный интеллект: автоматизированный анализ текста на естественном языке для аудита радиологических исследований // Вестник рентгенологии и радиологии. — 2018. — №99(5). — С.253-258. [Morozov SP, Vladymyrskyy AV, Gombolevskiy VA, Kuz'mina ES, Ledikhova NV. Artificial intelligence: natural language processing for peer-review in radiology. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2018; 99(5): 253-258. (In Russ.)] doi: 10.20862/0042-4676-2018-99-5-253-258.
32. Thomas SP, Fraum TJ, Ngo L, Harris R, Balesh E, Bashir MR, et al. Leveraging Artificial Intelligence to Enhance Peer Review: Missed Liver Lesions on Computed Tomographic Pulmonary Angiography. *Journal of the American College of Radiology*. 2022; 19: 1286-94. doi: 10.1016/j.jacr.2022.07.013.