

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ УЗЛОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ



© Е.А. Трошина¹, С.М. Захарова¹, К.В. Цыгулева², И.А. Ложкин², Д.В. Королев², А.А. Трухин^{1,2*}, К.С. Зайцев², Т.В. Солдатова¹, А.А. Гармаш²

¹Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

ОБОСНОВАНИЕ. Применение искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы ожидаемо и достаточно перспективно. Однако для того, чтобы это понять, необходимо увидеть, как с его помощью работает врач, поэтапно проводя диагностику заболеваний, как именно этот интеллект реализуется в практическом здравоохранении. В текущей публикации представлен обзор существующих интеллектуальных систем поддержки врачебных решений в тиреоидологии, и детально описаны возможности российского интеллектуального компьютерного ассистента врача ультразвуковой диагностики — системы стратификации узловых образований щитовидной железы по категориям EU-TIRADS.

ЦЕЛЬ. Повышение точности и сокращение времени УЗ-диагностики при исследовании узловых образований щитовидной железы за счет использования интеллектуальной системы ассистирования врачу УЗИ на различных этапах его деятельности с демонстрацией действий «ассистента».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для понимания возможностей использования врачами УЗИ искусственного интеллекта в своей работе предлагаемое решение разделено на этапы, на каждом из которых демонстрируются дополнительные возможности, которыми обладает врач при использовании методов интеллектуального компьютерного зрения. В качестве интеллектуальной базы используются различные архитектуры искусственных нейронных сетей, которые могут дообучаться подобно человеку на новых медицинских данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Предлагаемое интеллектуальное решение позволяет врачу УЗИ иметь «второе мнение» на своем рабочем месте, которое, обрабатывая кинопетли УЗИ, позволяет решить задачи сегментации и стратификации узловых образований щитовидной железы по категориям EU-TIRADS с точностью 65–70%, т.е. на уровне врача с 5-летним опытом работы. Предложенный управляемый данными (data driven) подход по мере обработки кинопетель новых пациентов будет улучшать свои точностные показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Повествование подводит читателя к пониманию того, в каких диагностических процессах полезно применять методы искусственного интеллекта при ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы, и как можно эффективно взаимодействовать естественному и искусственному интеллекту в рамках программного веб-приложения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: искусственный интеллект; ультразвуковая диагностика; узловые образования щитовидной железы; веб-приложение; система поддержки принятия решения.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ULTRASOUND DIAGNOSTICS OF THYROID NODULES

© Ekaterina A. Troshina¹, Svetlana M. Zakharova¹, Kristina V. Tsyguleva², Ilya A. Lozhkin², Denis V. Korolev², Alexey A. Trukhin^{1,2*}, Konstantin S. Zaytsev², Tatyana V. Soldatova¹, Alexandr A. Garmash²

¹Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University «MEPhI» (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

BACKGROUND: the use of artificial intelligence in ultrasound diagnosis of thyroid nodules is expected and quite promising. However, in order to understand this, it is necessary to see how a doctor works with its help, diagnosing diseases step by step, and how exactly this intelligence is implemented in practical healthcare. The current publication provides an overview of existing intelligent systems for supporting medical decisions in thyroidology, and describes in detail the capabilities of the Russian intelligent computer assistant for ultrasound diagnostics - a system for stratifying thyroid nodules by EU-TIRADS categories.

AIM: increasing the accuracy and reducing the time of ultrasound diagnostics in the study of thyroid nodules through the use of an intelligent system for assisting the ultrasound doctor at various stages of his activity with demonstration of the actions of the “assistant”.

MATERIALS AND METHODS: to understand the possibilities of ultrasound doctors using artificial intelligence in their work, the proposed solution is divided into stages, each of which demonstrates the additional capabilities that a doctor has when using intelligent computer vision methods. Various artificial neural network architectures are used as an intellectual base, which can be further trained like a human on new medical data.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding author.

© Endocrinology Research Centre, 2024

Received: 25.04.2024. Accepted: 10.06.2024.

Клиническая и экспериментальная тиреоидология 2024;20(1):15-29

doi: <https://doi.org/10.14341/ket12782>

Clinical and experimental thyroidology. 2024;20(1):15-29



RESULTS: the proposed intelligent solution allows the ultrasound doctor to have a “second opinion” at his workplace, which, by processing ultrasound cine loops, allows him to solve the problems of segmentation and stratification of thyroid nodules according to EU-TIRADS categories with an accuracy of 70%, i.e. at the level of a doctor with 5 years of experience. The proposed data driven approach will improve its accuracy as new patient loops are processed.

CONCLUSION: the narrative leads the reader to understand in what diagnostic processes it is useful to use artificial intelligence methods in the ultrasound diagnosis of thyroid nodules, and how natural and artificial intelligence can effectively interact within the framework of a software web application.

KEYWORDS: artificial intelligence, ultrasound diagnostics, thyroid nodules, web application, decision support system.

ОБОСНОВАНИЕ

Применение искусственного интеллекта (ИИ) становится все более востребованным и популярным при проведении исследований в области медицинской визуализации. За последние десятилетия тенденция к автоматизации клинических исследований затронула множество разделов медицины, таких как онкология, пульмонология, дерматология, радиология и др., однако, несмотря на высокую распространенность эндокринных заболеваний, в частности узлового зоба, эта область является одной из наименее разработанных областей медицины в плане применения ИИ [1, 8].

В настоящей статье рассматривается практика применения технологий ИИ к реальным задачам диагностики заболеваний щитовидной железы (ЩЖ) при ультразвуковом исследовании (УЗИ) с позиции врача ультразвуковой диагностики.

УЗИ является одним из основных этапов обследования узлового зоба и требует высокой квалификации и опыта врача для верной интерпретации полученных результатов. Наиболее распространенная проблема в процессе анализа ультразвуковых изображений узловых образований ЩЖ — сложность выявления на снимке границ здоровых тканей и их патологических изменений. В целом задача распознавания снимков УЗИ может иметь низкую воспроизводимость из-за основных особенностей этого процесса.

1. УЗИ является оператор-зависимым исследованием, то есть результаты исследования могут различаться в зависимости от опыта и квалификации врача-диагноста. Распознавание и интерпретация полученных изображений требует определенного уровня навыков и опыта.
2. УЗИ может быть подвержено воздействию различных внешних факторов, которые могут искажать полученные изображения, например, факторы движения и/или акустического воздействия могут снижать качество изображения на снимке и усложнять распознавание объектов.
3. Характеристики УЗ-аппаратуры, наличие или отсутствие навыков по оптимизации ее настроек могут влиять на качество полученного изображения, затрудняя его интерпретацию.

Современные условия работы предъявляют все больше требований к уровню знаний и умений врача. Внедрение системы EU-TIRADS, согласно которой определяются показания к проведению пункционной биопсии или наблюдению за пациентом, привело к разделению ответственности в принятии решений между врачом УЗИ и врачом-эндокринологом. Другими словами, в настоящее время недостаточно лишь описать характеристики образования, но необходимо поставить его категорию

по EU-TIRADS, которая и определит следующий шаг в диагностике либо лечении пациента. Сначала внедрение этой системы воодушевило врачей, т.к. признаки категорий прописаны достаточно четко, и это должно было упростить работу как врача УЗИ, так и эндокринолога, однако вскоре стало очевидным, что внедрение системы EU-TIRADS не устраняет основную «ахиллесову пятю» ультразвуковой диагностики — субъективность интерпретации изображения. Нередко мы сталкиваемся с ситуацией, когда одно и то же узловое образование ЩЖ у пациента разными врачами трактуется в диапазоне категорий от 2 до 5 по EU-TIRADS. Больше всего разночтений в выставлении категорий 5, а также в трактовке степени снижения эхогенности и интерпретации гиперэхогенных включений, таких как микрокальцинаты [2].

Алгоритмы искусственного интеллекта могут помочь врачу разрешить сомнения в категорировании узловых образований ЩЖ по системе EU-TIRADS, предоставляя дополнительную информацию о геометрии и текстуре тканей на изображении, формируя как бы «второе мнение врача». Однако решение, безусловно, остается за специалистом, врач может учитывать или не учитывать предложенный ИИ вариант в своих окончательных выводах.

В качестве примера эффективного применения ИИ в области УЗИ узловых образований ЩЖ можно привести систему ThyNet, представленную в 2021 г. [3]. Эта интеллектуальная система была обучена на 18 049 изображениях на основе стратификации риска узловых образований по категориям ACR TI-RADS и затем протестирована на 4305 изображениях.

В процессе проведения исследования сравнивали работу врача, как с применением алгоритмов ИИ, так и без него. Специалисты были распределены на две фокус-группы с опытом работы более 8 лет и 1-3 года. Полученные результаты исследования представлены на рис. 1.

Авторы пришли к выводу, что применение интеллектуальной системы как источника «второго мнения» может повысить качество работы врачей ультразвуковой диагностики с небольшим опытом работы и снизить назначение дополнительных обследований с исходных 62% до 35–40%.

К аналогичным выводам пришли авторы модели AI-Thyroid, которая была обучена с использованием 19 711 изображений и протестирована на более чем 15 000 изображений (рис. 2). Применение модели позволило изменить показатели метода диагностики узловых образований — площади под ROC-кривой (AUC), чувствительности и специфичности с 85,4 до 94,5%, с 84,2 до 92,7% и с 72,9 до 86,6% (все $P < 0,001$) в группе врачей-стажеров и с 91,4 до 93,9% ($P = 0,022$), с 78,6 до 85,5% ($P = 0,053$) и с 91,9 до 92,5% ($P = 0,683$) в группе врачей

с большим опытом работы (преподавателей-радиологов) соответственно [3].

В России также проводят исследования в области применения ИИ для диагностики узловых образований ЩЖ по УЗ-изображениям [5–7], и создана компьютерная система в помощь врачу [8].

Целью исследования является повышение точности и сокращение времени УЗ-диагностики при исследовании узловых образований ЩЖ за счет использования интеллектуальной системы ассистирования врачу УЗИ на различных этапах его деятельности с демонстрацией действий «ассистента».

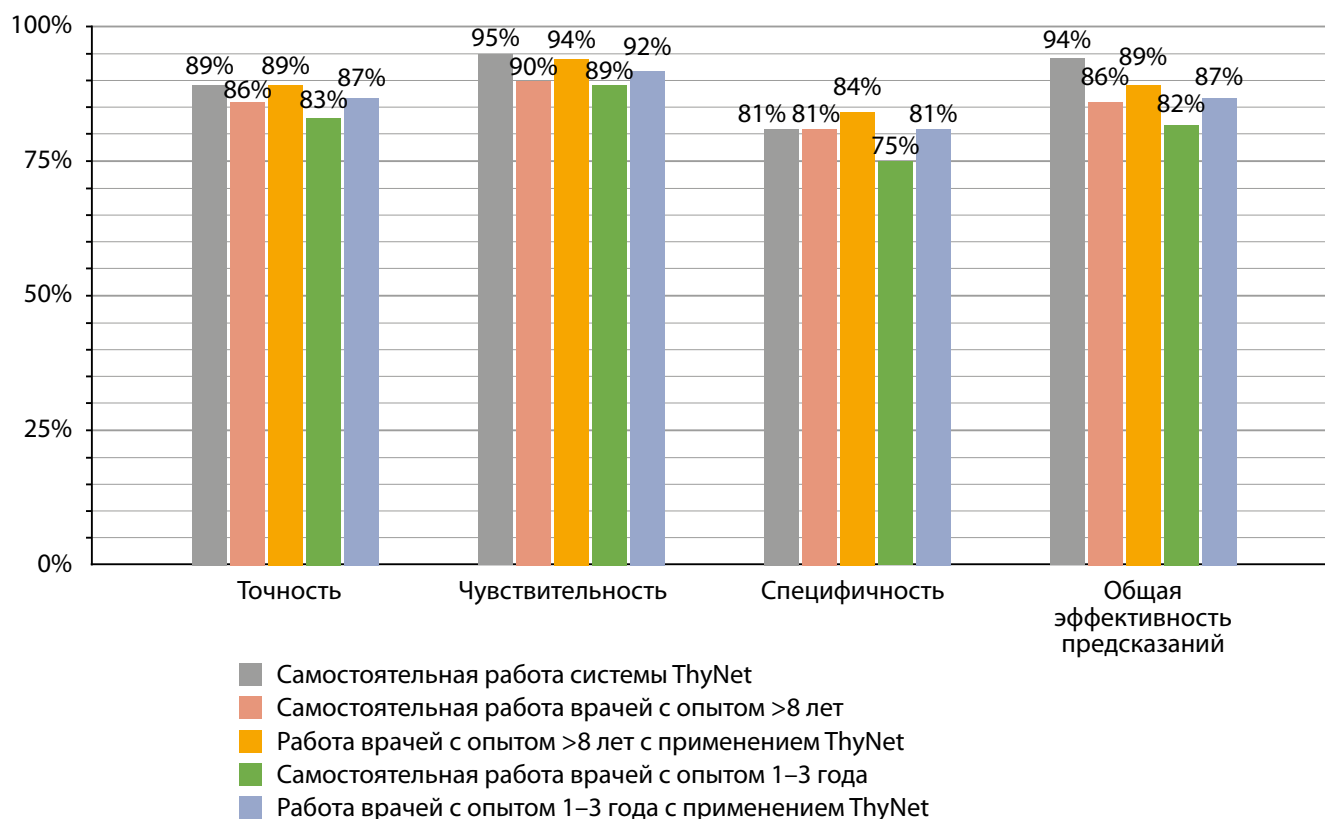


Рисунок 1. Характеристики результатов исследования с системой ThyNet [2].

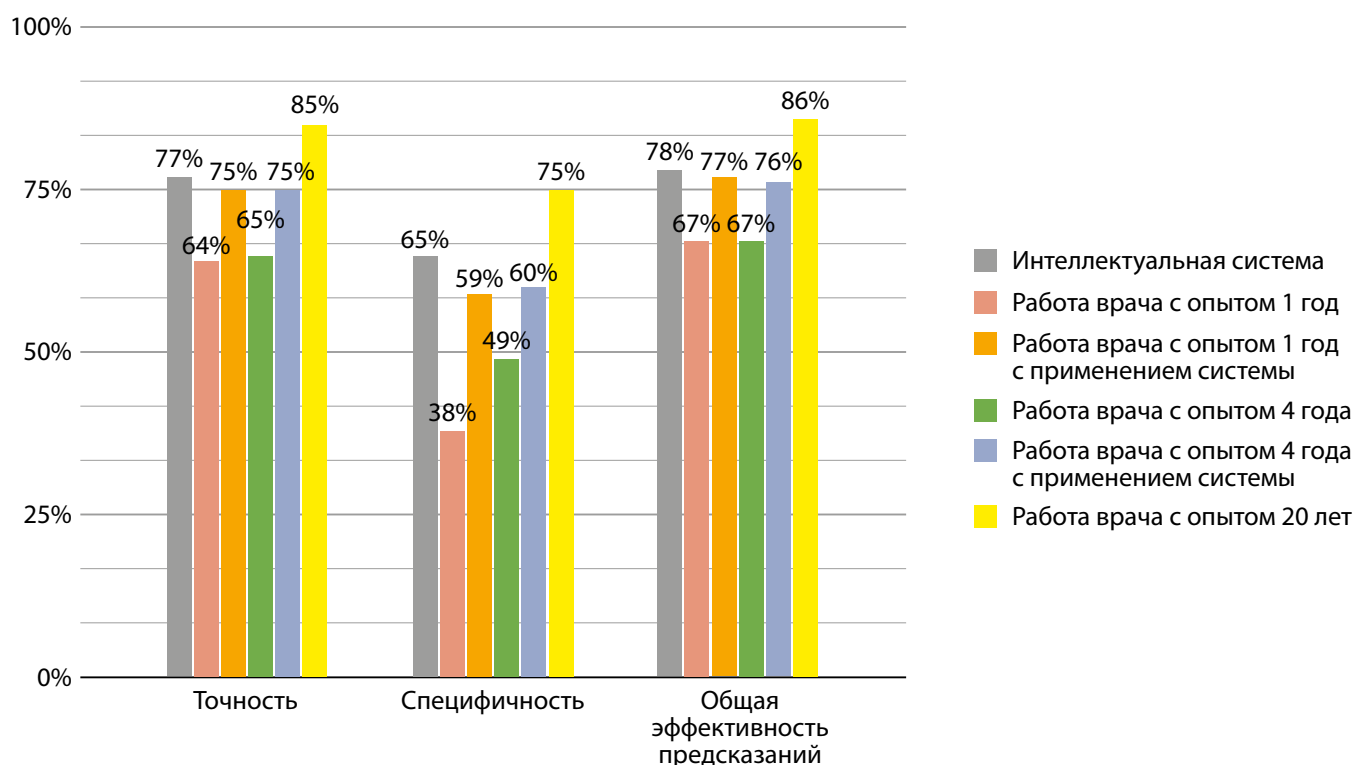


Рисунок 2. Характеристики результатов исследования [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Разработанная интеллектуальная система поддержки врача ультразвуковой диагностики ориентирована на решение схожей задачи. При создании отечественной технологии УЗ-диагностики были спроектированы уникальные модели нейросетей, которые позволяют анализировать УЗ-снимки ЩЖ для автоматической сегментации узловых образований и классификации заболеваний по категориям EU-TIRADS. Анализ опубликованных и проведенных экспериментов по решению задачи семантической сегментации (ограничению новообразования с заданными характеристиками) позволили в качестве базовой архитектуры нейронной сети выбрать DeepLabV3+ для поддержки врачебных решений врача УЗИ [8]. Аналогично для решения задачи классификации изображений на том же тестовом наборе изображений [16] в качестве базовой была выбрана модель EfficientNet-B6 [8].

Критерии включения

Набор и разметка изображений подготовлены одним врачом ультразвуковой диагностики с опытом более 15 лет при технической поддержке медицинских физиков. Тестовую эксплуатацию функционала интеллектуальной

системы поддержки врача ультразвуковой диагностики проводили также врачом ультразвуковой диагностики со стажем более 15 лет и молодым врачом ультразвуковой диагностики с опытом менее 3 лет.

Условия проведения

Для взаимодействия клиницистов с технологиями ИИ было разработано программное веб-приложение [17], позволяющее отладить диагностические процессы (сценарии) врача ультразвуковой диагностики для работы со снимками в клинических условиях.

Описание вмешательства

Рассмотрим алгоритм работы врача УЗИ в разработанной нами отечественной интеллектуальной системе поддержки врача УЗ-диагностики при исследовании узловых образований ЩЖ (рис. 3).

Врач последовательно выполняет несколько простых операций. Он авторизуется в системе и выбирает пациента из списка или создает новую карту для прикрепления изображения. Далее врач выбирает наиболее информативный снимок на аппарате УЗИ, тип аппарата УЗИ и тип проекции проведенной диагностики. После подгружает выбранный снимок в систему, отправляет на обработку и получает результат работы программной системы.

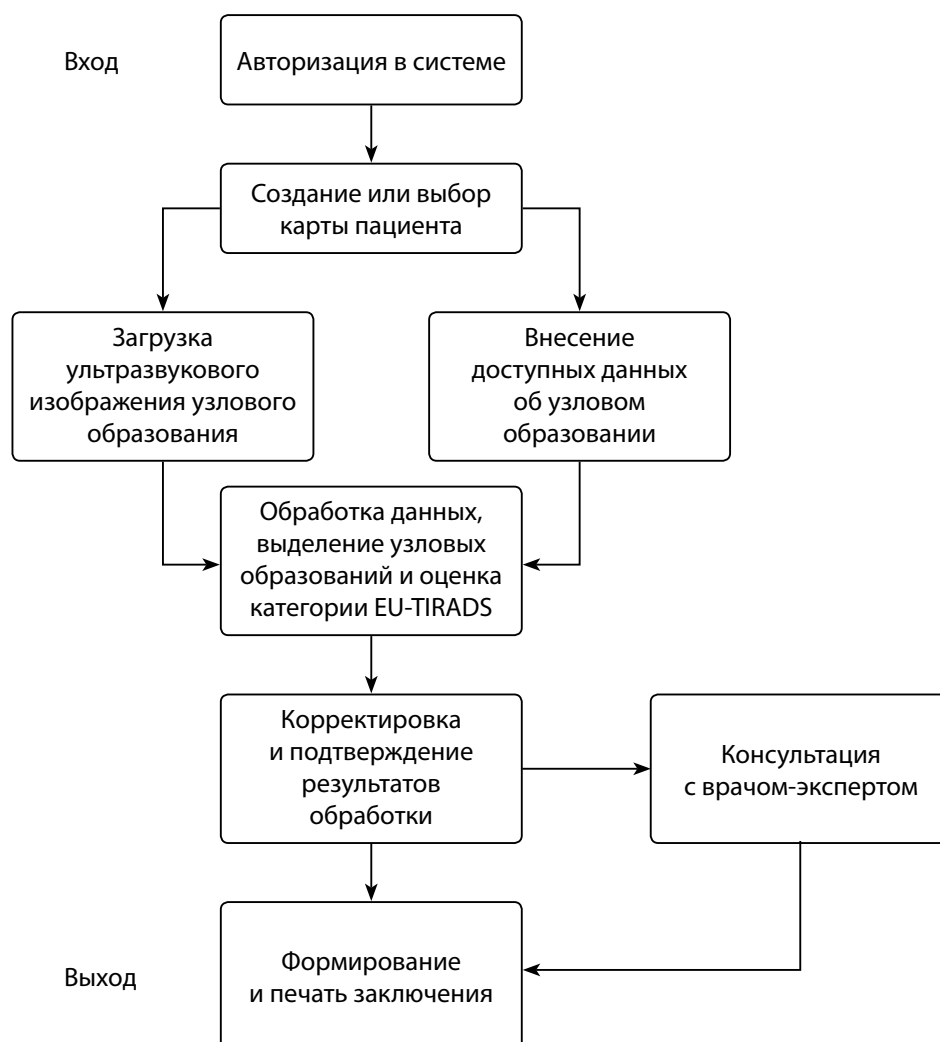


Рисунок 3. Алгоритм работы врача ультразвуковой диагностики в интеллектуальной системе поддержки врача УЗ-диагностики.

Статистический анализ

Выполненные сегментации на тестовом наборе ультразвуковых изображений узловых образований с известным гистологическим статусом [16] показали хороший коэффициент соответствия в 75% между областями новообразований ЩЖ, выделенных отдельно врачом без предлагаемой интеллектуальной системы и компьютерной системой без участия врача.

Математическая модель для решения задачи классификации EfficientNet-B6 благодаря своему относительно небольшому количеству настроек и высокой точности в экспериментах на текущем этапе обучения показала точность 65–70%.

Этическая экспертиза

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России (25 марта 2020 г. №5). От всех участников исследования получены информированные согласия на проведение исследования и обработку персональных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Техническим результатом реализации работы является реализованный функционал, доступный врачу

ультразвуковой диагностики. С позиции медицины произведена модернизация диагностического процесса, представлен метод диагностики с применением средства искусственного интеллекта. Рассмотрим подробнее порядок действия, представленный на рис. 3.

Авторизация в интеллектуальной системе поддержки врача ультразвуковой диагностики при исследовании узловых образований щитовидной железы

На рис. 4 представлен начальный экран интерфейса, на котором врач проходит авторизацию в системе, задавая свою электронную почту и пароль. При первичной авторизации специалисту необходимо завести собственный аккаунт (персональную учетную запись) в системе, содержащий ФИО и данные для проведения дальнейшей авторизации. После создания аккаунта клиницист имеет возможность отслеживания истории болезни только наблюдаемых им пациентов, вносить правки по снимкам или диагностике, запрашивать и/или предоставлять экспертное мнение и т.д.

Создание или выбор карты пациента

В интерфейсе (рис. 5) реализована возможность выбора пациента, которому принадлежит загруженное

Интеллектуальный ассистент слепой диагностики узловых образований щитовидной железы

Войти

Эл. почта

Введите Вашу электронную почту

Пароль

Введите пароль

ВОЙТИ

У Вас нет аккаунта? [Зарегистрироваться](#)

Рисунок 4. Авторизация в системе.

Пациент

Иванов Иван Иванович 123-456-789 00

Петров Петр Петрович 111-111-111 11

Рисунок 5. Выбор карты из занесенных в систему.

Создание карты пациента

Фамилия *

Введите фамилию пациента

Имя *

Введите имя пациента

Отчество *

Введите отчество пациента

Эл. почта *

Введите электронную почту пациента

СНИЛС *

Введите полис пациента

☒ Пациент активен

Рисунок 6. Создание новой карты пациента.

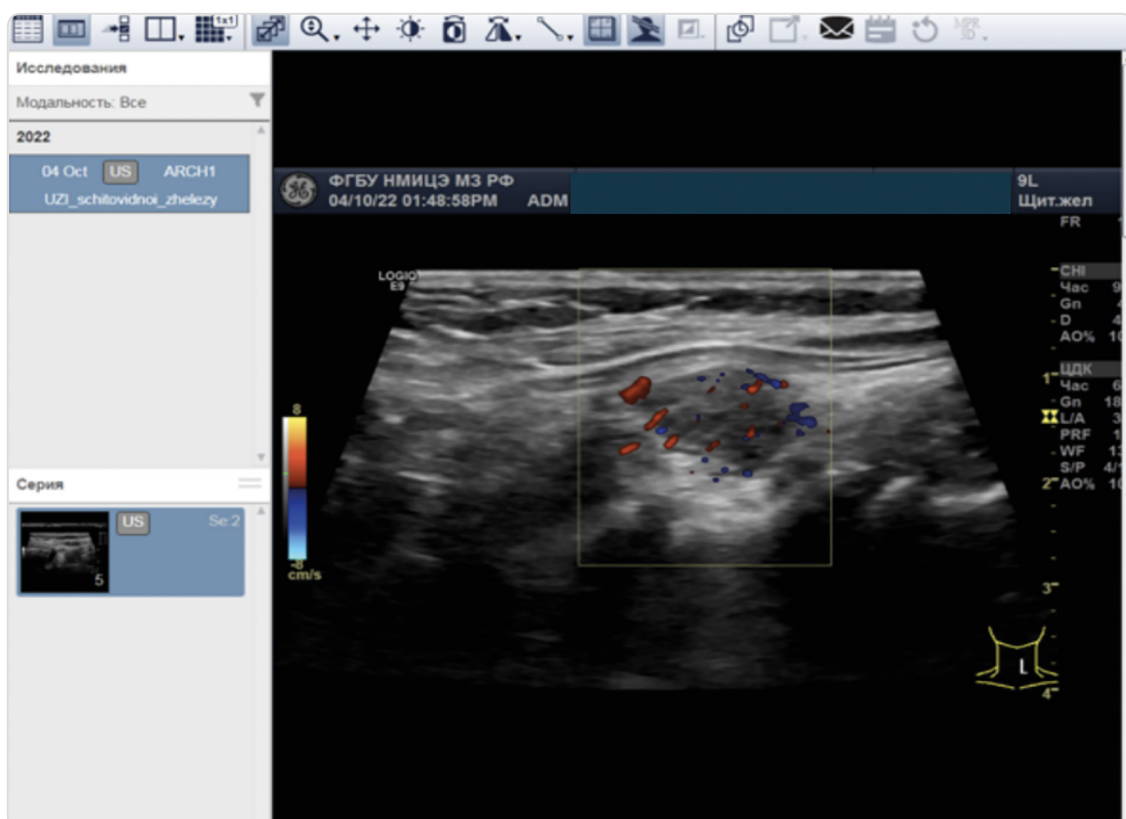


Рисунок 7. Выбор снимка с УЗ-аппарата.

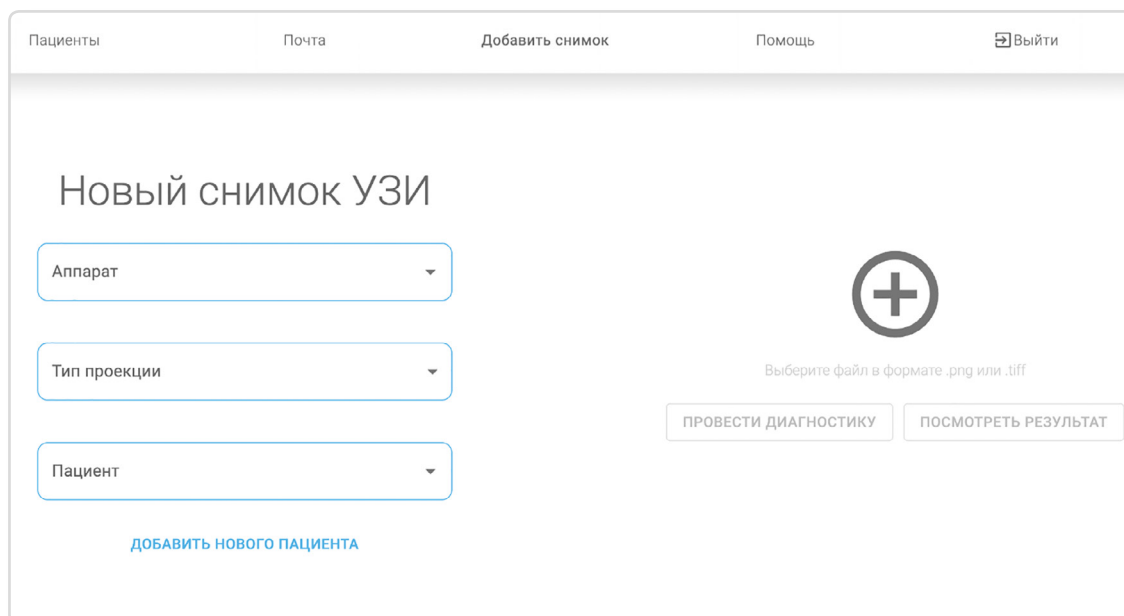


Рисунок 8. Главная страница (страница загрузки снимка) в системе.

диагностическое изображение. Если пациента нет в базе данных, то можно создать новую карту для прикрепления снимка (рис. 6).

При выборе пациента из базы предусмотрен поиск по ФИО и номеру СНИЛС, что дает возможность быстрого обращения к нужной карте. Страница создания новой карты пациента дополнена полями для ввода данных о лечащем враче для возможности сохранить контакт (как и контакт пациента) на случай дальнейших медицинских действий и подтверждения/опровержения результатов УЗ-диагностики.

Внесение данных исследования узловых образований и запуск работы интеллектуальных алгоритмов

Рассмотрим проведение операций по исследованию узловых образований на примере. На рис. 7 представ-

лена страница интерфейса веб-приложения, предлагающая загрузить с персонального компьютера изображение или серию снимков кинопетли.

При выборе материала для анализа более эффективным вариантом является серия снимков, это связано с разработанным способом прогнозирования, при котором учитывается не только каждый снимок в отдельности, но и их последовательность, и общее наполнение материала. От снимка к снимку прогноз может быть видоизменен в той или иной степени, что даст более полную картину результата.

Загрузим снимок в интеллектуальную систему. Эта страница интерфейса представлена на рис. 8. В системе предусмотрена встроенная интерактивная инструкция по ее использованию, помогающая по месту определить возможные действия. Пример ее работы приведен на рис. 9.

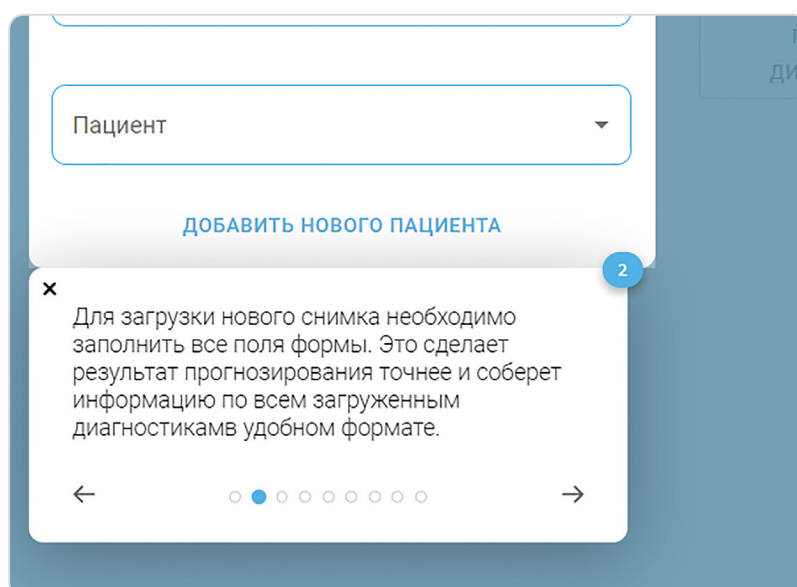


Рисунок 9. Пример вызова интерактивной инструкции.

Рисунок 10. Заполнение полей «Аппарат», «Тип проекции», «Пациент».

Заполняем оставшиеся поля для загрузки снимка и выбираем файл на устройстве (рис. 10 и 11). Заполнение дополнительных данных по диагностике является обязательной частью процесса загрузки снимка. Связано это с тем, что данное действие сделает результат прогнозирования точнее и соберет информацию по всем ранее загруженным изображениям в удобном формате. К тому же сам процесс не занимает много времени.

К необходимым для заполнения полям относятся: тип аппарата, на котором проводилось УЗ-исследование, тип проекции исследования (продольная или поперечная), ФИО и номер СНИЛС. Загружаемый файл может быть в любом формате из *.jpg, *.png, *.tiff или *.dcm.

Каждый из форматов изображения интеллектуальная система обрабатывает схожим образом и со схожей точностью. Но при этом при загрузке снимка стоит обращать внимание на визуальное качество снимка и его разрешение. Как и человеческий глаз, система лучше распознает более качественные изображения.

Характеристики узловых образований заносят в форму, представленную на рис. 12.

После заполнения всех необходимых полей формы и их загрузки в систему нажимаем на кнопку «Провести диагностику», которая становится доступной (рис. 13). После нажатия снимок отправляется на анализ искусственному интеллекту, и при соблюдении всех условий мы увидим сообщение о начале процесса прогнозирования.

В силу того, что анализ снимков искусственным интеллектом — трудоемкий и длительный (в случае длинной ультразвуковой кинопетли) процесс, прогнозирование может занимать несколько минут. На этот случай предусмотрена возможность параллельной загрузки новой информации для обработки других случаев, чтобы не тратить время на ожидание результатов. При этом к загруженным снимкам всегда можно будет вернуться из карты пациента.

Результат обработки данных интеллектуальными алгоритмами

Результаты прогнозирования можно посмотреть сразу при нажатии на клавишу «Посмотреть результат» (рис. 13 и 14). Но при необходимости можно продолжить

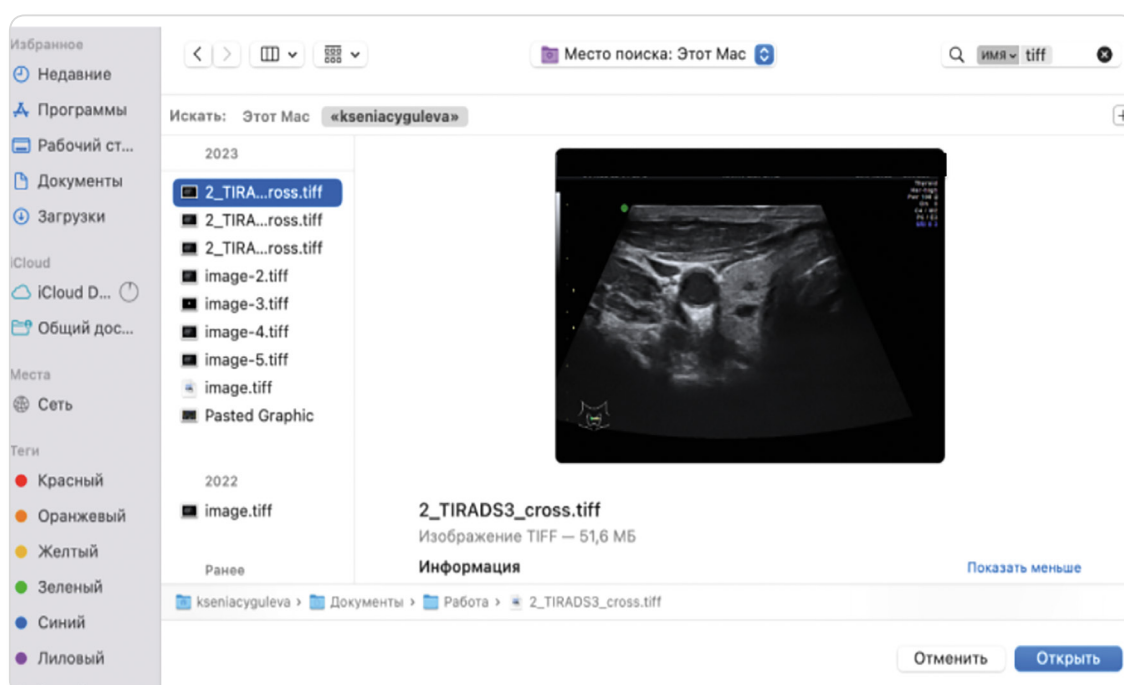


Рисунок 11. Интерфейс для выбора файла с ультразвуковым изображением щитовидной железы.

Результаты диагностики

Заполните необходимые поля

Контуры
чёткие, ровные

Левая доля Правая доля

Длина Длина
0 0

Ширина Ширина
0 0

Толщина Толщина
0 0

Объем Объем
0 0

Объем железы
0

Перешеек
0

Структура
однородная

Эхогенность
средняя

Аппарат
Logiq E9

Endocrinology
25.04.2022 16:31:20
Thyroid
Har-high
Pwr: 100.0
On: 0
C4 / M2
P6 / E3
SRI II 3

СОХРАНИТЬ РЕЗУЛЬТАТ

СКАЧАТЬ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рисунок 12. Форма эхографических признаков.

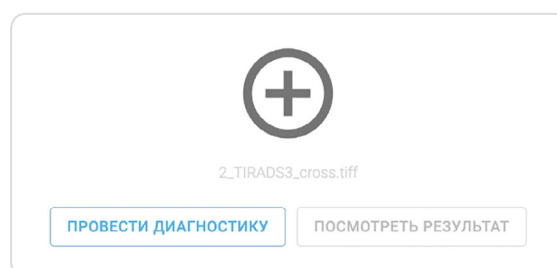


Рисунок 13. Запуск процесса прогнозирования.

Не проверено специалистом

Пациент: Иванов Иван Иванович
СНИЛС: 123-456-789 00
Дата: 23.02.2024

Типы новообразований, определенные ассистентом: ▼

TI-RADS 1 TI-RADS 2 **TI-RADS 3** TI-RADS 4 TI-RADS 5

Типы новообразований, определенные специалистом:

TI-RADS 1 TI-RADS 2 TI-RADS 3 TI-RADS 4 TI-RADS 5

ИЗМЕНИТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ

Рисунок 14. Страница просмотра результата прогнозирования.

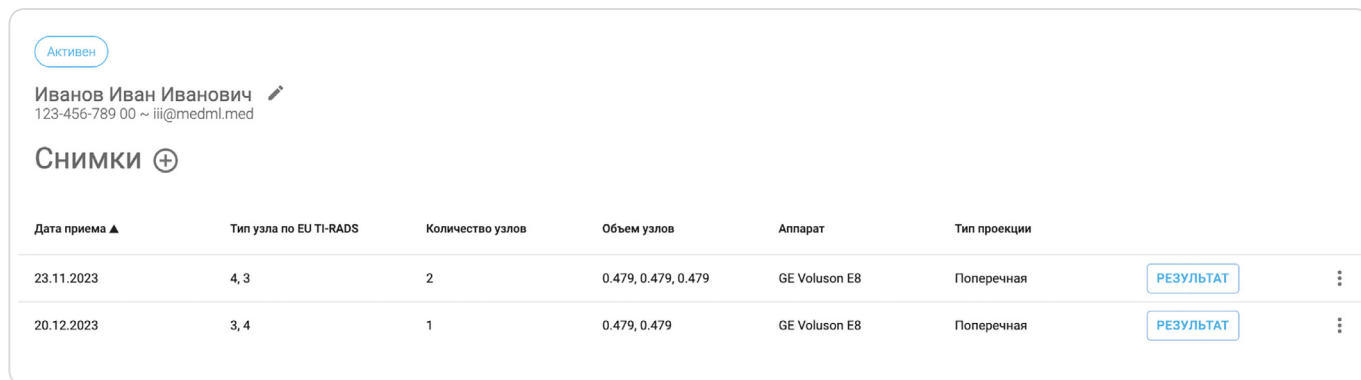


Рисунок 15. Страница карты пациента.

загрузку и открыть результат уже из карты пациента (рис. 15).

В поле над информацией о пациенте показан результат обработки. Если результат проверен и подтвержден специалистом — иконка и надпись изменятся на соответствующие подтверждению. Это позволяет отследить, была ли проведена проверка выполненной диагностики и является ли результат подтвержденным для дальнейшего использования другими специалистами.

Информация о пациентах и загруженных диагностических данных представлена в системе в виде интерактивной таблицы основных реквизитов всех наблюдаемых пациентов. Информация в этом разделе не изменяется и не удаляется, что позволяет вернуться и проанализировать результаты проведенных ранее исследований.

Интеллектуальный алгоритм определяет не только категорию EU-TIRADS, но и положение всех узлов на снимке с распределением вероятности принадлежности узлов к определенным классам. Итоговые результаты прогнозирования представляются в удобном формате для проверки и дальнейшего использования (рис. 15).

В текущем разделе с распределением по категориям EU-TIRADS указаны типы узловых образований. Первый список отвечает за типы, спрогнозированные алгоритмами веб-сервиса. Второй — за типы, выявленные медицинским специалистом. Если результат анализа диагностики не был подтвержден, второй список останется пустым. Реализована также возможность поддержки страничного отображения и редактирования многостраничных *.TIFF-файлов, что особенно важно при работе в медицинской сфере с форматом DICOM, *.dcm.

Корректировка и подтверждение результатов обработки

Процесс сбора данных является крайне длительным и трудоемким для врачей. Поэтому, чтобы облегчить подтверждение результатов обработки, внедрена возможность сегментирования и редактирования результатов автоматической сегментации в реальном времени. Врач может легко исправить предложенную компьютером границу узла или добавить новый узел и указать его категорию EU-TIRADS. После нажатия кнопки «отправить» изменения появятся у разработчиков, и они смогут использовать эти новые данные для дообучения моделей.

Работы с изображениями производится по следующему сценарию:

- 1) открытие результатов диагностики;
- 2) переход к разделу изменения результатов;
- 3) при положительной оценке результатов прогнозирования — копирование результатов, представленных системой;
- 4) изменение типа узла и его границ при необходимости (рис. 16);
- 5) добавление новых узлов при необходимости (рис. 17);
- 6) сохранение внесенных изменений.

Консультация с экспертом

Для работы в удаленных районах в системе реализован режим взаимодействия с экспертами в виде экспертной почты. Эксперты входят в состав штатного персонала веб-сервиса и зарегистрированы в нем соответствующим образом. С ее помощью можно просматривать снимки, пришедшие на экспертизу, запрашивать дополнительную информацию, необходимую для формирования экспертного мнения. Однако в некоторых «сложных» клинических случаях функционал веб-сервиса автоматизированного анализа и экспертной оценки не достаточен для формирования экспертного мнения. В таком случае будет указана необходимость проведения повторного ультразвукового исследования ЩЖ.

Для отправки результатов диагностики на экспертизу более опытному специалисту необходимо выполнить следующие операции:

- 1) открыть историю диагностик пациента (рис. 14);
- 2) нажать на клавишу «Отправка эксперту»;
- 3) заполнить поля формы и выбрать интересующих специалистов (рис. 18);
- 4) отслеживать ответ в разделе «Почта» (рис. 19–20).

Формирование и печать заключения

В качестве дополнительных элементов работы отметим выгрузку. Реализован механизм заполнения эхографических признаков диагностики по предложенной форме, после заполнения которой можно получить заключение в формате *.pdf. Заключение, которое можно сформировать в системе, может быть настроено на функциональные и юридические требования медицинской организации. Для выгрузки заключения врачу-диагносту необходимо открыть результаты прогнозирования и нажать на кнопку «Скачать заключение».



Рисунок 16. Изменение выделенных границ узлового образования.



Рисунок 17. Выделение нового новообразования.

← Отправка эксперту

Пациент: Иванов Иван Иванович
Диагностика от: 31.03.2024

Тема
Определение результатов диагностики

Комментарий

Тип узла по EU TI-RADS
5

☐	ФИО специалиста ▲	Медицинская организация	Об эксперте
☐	Петров Петор Петрович	НМИЦ Э, врач УЗД	Экспертный опыт не указан
☐	Цыгулева Ксения Владимировна	НИЯУ МИФИ, должность не указана	Экспертный опыт не указан

Строк на странице 10 1-7 из 7

ОТПРАВИТЬ

Рисунок 18. Заполнение формы для отправки на экспертизу.

Определение результатов диагностики
28.01.2024

Специалисты
Иванов Иван
Петров Петр

Медицинская организация
НМИЦ Э, врач УЗД
НМИЦ Э, врач-эндокринолог

ОБСУЖДЕНИЕ

Рисунок 19. Раздел экспертной почты (Личный кабинет эксперта).

← Иванов Иван Иванович
СНИЛС:123-456-789 00

СНИМКИ ^

Тип узла: 4, 4, 3
23.11.2023
Проекция: Поперечная

Тип узла: 3, 4
20.12.2023
Проекция: Поперечная

Тип узла: 3
20.12.2023
Проекция: Продольная

Тип узла: 5
20.12.2023
Проекция: Поперечная

Тип узла: 5
20.12.2023
Проекция: Поперечная

Тип узла: 5, 4, 3, 2
20.12.2023
Проекция: Поперечная

Тип узла: 4
20.12.2023
Проекция: Поперечная

Тип узла: 3
10.01.2024
Проекция: Поперечная

Тип узла: 3
10.01.2024
Проекция: Продольная

Тип узла: 3
10.01.2024
Проекция: Поперечная

Тип узла: 5
10.01.2024
Проекция: Продольная

Тип узла
10.01.2024
Проекция

Тип узла: 3
TIR
20.12.2023

admin admin admin
Место работы не указано, должность не указана

Сообщение

ОТПРАВИТЬ

?

Рисунок 20. Раздел экспертной почты (Личный кабинет обычного пользователя).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проектирование и внедрение систем, направленных на ассистирование медицинских специалистов и на поддержку принятия диагностических решений, является одним из наиболее актуальных направлений в создании ПО. При этом большинство разработок построены на внедрении искусственного интеллекта и машинного обучения при анализе медицинских изображений и результатов клинических исследований [9]. Большинство опубликованных за последнее десятилетие исследований в этой предметной области не затрагивают вопросы эндокринологии и тиреоидологии, а значительная часть публикаций по рассматриваемой нозологии не направлена на диагностирование по снимкам УЗД [10].

В настоящее время большинство медицинских организаций в РФ использует искусственный интеллект как основу разрабатываемого ПО. В качестве аналогов подобных представленной в исследовании систем могут быть рассмотрены: MDDC от компании «СберМедИИ», Цельс и IRA Labs [11–12]. При этом эндокринология, тиреоидология и УЗИ в целом не входят в список активно исследуемых нозологий, что делает представленное исследование уникальным и не имеющим прямых аналогов.

Рассматривая смежные области, исследования [13–14] подтверждают необходимость внедрения подобных решений в процессы здравоохранения, что подтверждает результаты и ценность настоящего исследования. Цифровизация диагностических процессов и длительное хранение результатов диагностики является одним из ключевых сфер развития здравоохранения.

Следует отметить, что в исследовании [15] рассматриваются вопросы о влиянии качества и объема обучающей выборки на результаты обучения нейросетевых моделей. При проведении экспериментов с глубокими нейросетевыми архитектурами, обученными на медицинских данных, показано, что недостаточный объем обучающих данных влечет за собой низкие показатели точности работы моделей. Кроме того, качество определения категории EU-TIRADS с использованием не участвующих в разработке веб-сервиса аппаратов УЗИ, можно установить при непосредственном тестировании изображений, полученных с их помощью. К настоящему времени мы получали кинопетли с УЗ-аппаратов GE Voluson E8 и GE Logiq E.

Погрешность решения задачи классификации в соседствующих категориях на данный момент не превышает 15% и будет уменьшаться с увеличением числа случаев (объема данных), на которых производится обучение. Возможность прямого сравнения качества работы интеллектуальных алгоритмов, визуализируя узловые образования *in vivo* на разных УЗ-аппаратах, не рассматривается ввиду соблюдения этических норм.

Интерпретация признаков узловых образований ЩЖ, таких как экзогенность, на данный момент не реализована в предложенной версии системы. Модели в основе интеллектуальных алгоритмов разработаны на основе характеристик изображения разных порядков, сложно поддающихся интерпретации. Например, интенсивность ультразвукового изображения (экзогенность) можно отнести к характеристике первого порядка, что сейчас достаточно ясно практикующему врачу. Характеристики

матрицы пространственной смежности уровней серого, матрицы длин серий уровней серого, матрицы размеров областей уровня серого, полученные при предварительной обработке исходного изображения, являются характеристиками второго порядка, что сложно для восприятия. Применение характеристик изображений разных порядков позволяет использовать исходный набор изображений лучшим образом для построения прогностических моделей категоризации узловых образований. Дополнительно, говоря об интерпретации УЗ-изображения узлового образования, можно поставить задачу автоматической генерации заключения врача ультразвуковой диагностики по предоставленным изображениям ЩЖ и дополнительных клинических данных в интеллектуальную систему. Так, применение больших лингвистических моделей (англ. LLM — large language model) и вопрос-ответных (англ. QA — question answering) систем позволяет выявить набор токенов (ключевых элементов текста) и их взаимного расположения в существующих текстовых данных описания узловых образований ЩЖ и создать текст, приближенный к тому, что предложит врач ультразвуковой диагностики в каждом конкретном случае. Однако разработка алгоритмов автоматической генерации текста сталкивается с проблемой большого разнообразия обучающей выборки, что снижает качество работы алгоритмов.

Данные выводы подтверждают необходимость участия медицинских специалистов в процессах стандартизации УЗИ и цифровизации не только для развития непосредственно ПО, но и для формирования богатой выборки диагностических данных. Каждая новая группа клинических случаев требует отдельного внимания, поэтому вопрос формирования качественного набора данных всегда актуален. Так, например, на данный момент система обучена на наборе данных, в которых присутствует всего 6 случаев узловых образований с гистологически установленным медулярным раком ЩЖ, что накладывает ограничения на область ее применения.

Рассматриваемый в настоящем исследовании подход является универсальным для применения, как и на других этапах клинических диагностик узловых образований ЩЖ, так и в других областях медицины. Подобного рода автоматизация может рассматриваться к внедрению на всех этапах диагностического процесса, что способно существенно повысить не только качество и эффективность предоставляемых медицинских услуг, но и снизить риск пролонгации лечения и гипердиагностики. Дальнейшие исследования могут быть направлены не только на развитие конкретной предметной области, но и расширены для применения в решении проблем цитологии, гистологии и генетики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим, что для корректной работы системы необходимо ее периодическое дообучение на новых снимках/кинопетлях. Так как рост объема медицинских данных, на которых система учится, является залогом улучшения точностных характеристик выполненных диагностических действий, а привлечение нескольких врачей ультразвуковой диагностики со своими собственными методиками исследований позволит настроить адаптивный

интерфейс системы на конкретную группу врачей. В процессе работы система дообучается и как бы «наращивает» опыт работы, однако это требует времени наработки и вычислительных ресурсов.

Безусловно, существуют пределы точности, специфичности, чувствительности работы любой информационной системы, ограниченные предлагаемым функционалом, качеством направляемого материала на экспертизу и уровнем квалификации штатного персонала.

Важно также отметить, что система в том виде, в котором существует в настоящее время, не ориентирована на замену врача УЗИ, а лишь помогает оценить по изображению наиболее вероятную категорию узлового образования согласно системе EU-TIRADS, очертить границы новообразований ЩЖ и получить альтернативное мнение зарегистрированного в системе эксперта.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Материал подготовлен по гранту Российского научного фонда в рамках реализации проекта №22-15-00135 «Научное обоснование, разработка и внедрение новых технологий диагностики коморбидных йододефицитных и аутоиммунных заболеваний щитовидной железы с использованием возможностей искусственного интеллекта».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Mathur P, Mishra S, Awasthi R, Khanna A, Maheshwari K, et al. Artificial Intelligence in Healthcare: 2021 Year in Review. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25350.24645/1>
2. Słowińska-Klencka D, Popowicz B, Klencki M. Real-Time Ultrasonography and the Evaluation of Static Images Yield Different Results in the Assessment of EU-TIRADS Categories. *J Clin Med*. 2023;12(18):5809. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm12185809>
3. Peng S, Liu Y, Lv W, et al. Deep learning-based artificial intelligence model to assist thyroid nodule diagnosis and management: a multicentre diagnostic study. *Lancet Digit Heal*. 2021. doi: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00041-8)
4. Ha EJ, Lee JH, Lee DH, et al. Artificial Intelligence Model Assisting Thyroid Nodule Diagnosis and Management: A Multicenter Diagnostic Study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2024;109(2):527-535. doi: <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad503>
5. Трухин А.А., Захарова С.М., Дунаев М.Е., Исаева М.П., Гармаш А.А., Трошина Е.А. Роль искусственного интеллекта в дифференциальной ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. — 2022. — Т.18. — №2. С. 32-38. <https://doi.org/10.14341/ket12730>
6. Фартушный Э.Н., Сыч Ю.П., Фартушный И.Э., Кошечкин К.А., Лебедев Г.С. Стратификация узловых образований щитовидной железы по категориям Eu-TIRADS с использованием трансферного обучения сверточных нейронных сетей // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. — 2022. — Т.18. — №2. <https://doi.org/10.14341/ket12724>
7. Manaev AV, Trukhin AA, Zakharova SM, Troshina EA, Mokrysheva NG, Garmash AA. Textural Statistical Features of Ultrasound Imaging of Thyroid Nodules in the Assessment of Malignancy Status. *Phys At Nucl*. 2023;86(11):2500-2506. doi: <https://doi.org/10.1134/S1063778823110297>
8. Цыгулева К.В., Ложкин И.А., Королев Д.В., Зайцев К.С., Дунаев М.Е., Гармаш А.А., и др. Исследование применения нейросетевых моделей в классификации узлов щитовидной железы по категориям EU-TIRADS для персонализации ультразвуковой диагностики щитовидной железы // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. — 2023. — Т. 19. — №1. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12757>
9. Jhade S, Gangavarapu S, Channabasamma Rozhdestvenskiy O. Smart Medicine: Exploring the Landscape of AI-Enhanced Clinical Decision Support Systems. *MATEC Web of Conferences*. 2024;392. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439201083>
10. Hong N, Park H, Rhee Y. Machine Learning Applications in Endocrinology and Metabolism Research: An Overview. *Endocrinol Metab*. 2020;35(1):71-84
11. Гусев А.В., Владимировский 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. 2022. — Т. 3. doi: <https://doi.org/10.17816/DD107367>
12. Комарь П.А., Дмитриев В.С., Ледяева А.М., Шадеркин И.А., Зеленский М.М. Рейтинг стартапов искусственного интеллекта: перспективы для здравоохранения России. // *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. — 2021 г. — Т. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rejting-startapov-iskusstvennogo-intellekta-perspektivy-dlya-zdravoohraneniya-rossii>
13. Afridi A, Khan S. Digital transformation in healthcare rehabilitation: a narrative review. 2024;12:16-30. doi: <https://doi.org/10.5937/jpmnt12-48336>
14. Grigorieva N, Demkina A, Korobeynikova A. Digitalization in the Russian healthcare: barriers to digital maturity. *Population and Economics*. 2024;8:1-14. doi: <https://doi.org/10.3897/popecon.8.e111793>
15. Toldo M, Maracani A, Michieli U, Zanuttigh P. Unsupervised Domain Adaptation in Semantic Segmentation: A Review. *Technologies*. 2020;8:35. doi: <https://doi.org/10.3390/technologies8020035>
16. База данных №2023624099. База размеченных данных для решения задач классификации EU-TIRADS, автоматических детекции (локализации) и сегментации узловых образований щитовидной железы, дата государственной регистрации 21.10.2023 г.
17. Программа для ЭВМ №2023685308. Интеллектуальный ассистент врача ультразвуковой диагностики узловых образований щитовидной железы, дата государственной регистрации 24.10.2023 г.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

***Трухин Алексей Андреевич**, к.т.н. [Alexey A. Trukhin, PhD]; адрес: 117292 Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11, к. 2 [address: 11 bld 2, Dm. Ulyanova street, 117292 Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5592-4727>; eLibrary SPIN: 4398-9536; e-mail: alexey.trukhin12@gmail.com

Трошина Екатерина Анатольевна, д.м.н., профессор, член-корр. РАН [Ekaterina A. Troshina, MD, PhD, Professor]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8520-8702>; eLibrary SPIN: 8821-8990; e-mail: troshina@inbox.ru

Захарова Светлана Михайловна, к.м.н. [Svetlana M. Zakharova, MD, PhD];

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6059-2827>; eLibrary SPIN: 9441-4035; e-mail: smzakharova@mail.ru

Цыгулева Ксения Владимировна [Kseniya V. Tsyguleva]; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0764-8165>;

eLibrary SPIN: 9560-4950; e-mail: k151201@yandex.ru

Ложкин Илья Александрович [Ilya A. Lozhkin]; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8718-8468>;

eLibrary SPIN: 1211-2192; e-mail: ilya.lozhkin@yandex.ru

Королев Денис Вячеславович [Denis V. Korolev]; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0952-2944>;

eLibrary SPIN: 8581-3976; e-mail: newmancu@gmail.com

Зайцев Константин Сергеевич, д.т.н. [Konstantin S. Zajtsev, PhD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0566-7379>;

eLibrary SPIN: 9698-2080; e-mail: KSZajtsev@mephi.ru

Солдатова Татьяна Васильевна, к.м.н. [Tatyana V. Soldatova, MD, PhD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1904-3118>;

eLibrary SPIN: 1305-8829; e-mail: Soldatova.Tatyana@endocrincentr.ru

Гармаш Александр Александрович, к.т.н. [Alexandr A. Garmash, PhD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1129-7220>;

e-mail: AAGarmash@mephi.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.

ИНФОРМАЦИЯ:

Рукопись получена 25.04.2024. Рукопись одобрена: 10.06.2024. Received: 25.04.2024. Accepted: 10.06.2024.

ЦИТИРОВАТЬ:

Трошина Е.А., Захарова С.М., Цыгулева К.В., Ложкин И.А., Королев Д.В., Трухин А.А., Зайцев К.С., Солдатова Т.В., Гармаш А.А. Применение искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. — 2024. — Т. 20. — №1. — С. 15-29. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12782>

TO CITE THIS ARTICLE:

Troshina EA, Zakharova SM, Tsyguleva KV, Lozhkin IA, Korolev DV, Trukhin AA, Zajtsev KS, Soldatova TV, Garmash AA. Application of artificial intelligence in ultrasound diagnostics of thyroid nodules. *Clinical and experimental thyroidology*. 2024;20(1):15-29. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12782>