

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD632355>

EDN: WELCYI

# Опыт применения технологий искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии

Д.У. Шихмурадов, К.М. Арзамасов, Т.М. Бобровская, Е.Ф. Савкина, Р.А. Ерижоков, Л.Д. Пестренин

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Новообразования надпочечников относят к частым находкам при проведении компьютерной томографии, которая является основным методом их визуализации, поскольку в большинстве случаев позволяет предположить нозологическую форму образования. В настоящее время активно разрабатывают и внедряют программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для обнаружения новообразований надпочечников при проведении компьютерной томографии. Настоящее исследование посвящено оценке диагностической эффективности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта в отношении выявления новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости, имеющих на первый квартал 2024 г.

**Цель исследования.** Оценить диагностическую эффективность программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта при выявлении новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии.

**Методы.** Проведено тестирование программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта в двух модификациях: моносервиса, определяющего только новообразования надпочечников и комплексного сервиса искусственного интеллекта для оценки нативных серий изображений компьютерной томографии органов брюшной полости и грудной клетки (в том числе с внутривенным контрастированием). В работе использовали два набора данных: набор данных № 1 содержал результаты компьютерной томографии органов брюшной полости; набор данных № 2 — результаты компьютерной томографии органов грудной клетки. Каждый набор данных состоял из 100 исследований компьютерной томографии с наличием ( $n=50$ ) и отсутствием ( $n=50$ ) признаков новообразований надпочечников, предварительно анонимизированных. Оценку точности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта проводили путём расчёта следующих статистических показателей: площади под характеристической кривой (AUC), точности, чувствительности и специфичности.

**Результаты.** По результатам тестирования с использованием подготовленных наборов данных с признаками новообразований надпочечников программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта достигли высоких значений метрик диагностической точности, превышающих заявленные показатели: AUC от 0,858 до 0,995 (максимальный показатель у моносервиса искусственного интеллекта-2 для анализа изображений органов брюшной полости); специфичность от 0,920 до 1,000 (максимальный показатель у комплексного сервиса искусственного интеллекта-2 для анализа изображений органов грудной клетки), чувствительность от 0,739 до 1,000 (максимальные показатели у моносервиса и комплексного сервиса искусственного интеллекта-2 для анализа изображений органов брюшной полости).

**Заключение.** Программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников продемонстрировали высокие значения метрик диагностической точности. В связи с этим они потенциально могут быть использованы в качестве метода эффективного обнаружения новообразований надпочечников при проведении компьютерной томографии органов брюшной полости и грудной клетки.

**Ключевые слова:** компьютерная томография; искусственный интеллект; нейронные сети; глубокое обучение; новообразования надпочечников.

## Как цитировать:

Шихмурадов Д.У., Арзамасов К.М., Бобровская Т.М., Савкина Е.Ф., Ерижоков Р.А., Пестренин Л.Д. Опыт применения технологий искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии // Digital Diagnostics. 2025. Т. 6, № 3. С. 464–476. DOI: 10.17816/DD632355 EDN: WELCYI

Рукопись получена: 21.05.2024

Рукопись одобрена: 09.04.2025

Опубликована online: 08.10.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD632355>

EDN: WELCYI

# Application of Artificial Intelligence Technologies in Detecting Adrenal Neoplasms on Computed Tomography Scans

David U. Shikhmuradov, Kirill M. Arzamasov, Tatiana M. Bobrovskaya, Ekaterina F. Savkina, Rustam A. Erizhokov, Lev D. Pestrenin

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Adrenal neoplasms are a common incidental finding on computed tomography, which remains the primary imaging method used to make a presumptive diagnosis of the lesion's nosological type. Artificial intelligence-based software solutions for detecting adrenal neoplasms on computed tomography scans have been actively developed and implemented.

**AIM:** This study aimed to assess the diagnostic effectiveness of artificial intelligence-based software in identifying adrenal neoplasms on computed tomography images of the chest and abdominal organs available as of the first quarter of 2024.

**METHODS:** Artificial intelligence-based software was tested in two modifications: a single-purpose service designed to detect adrenal neoplasms and comprehensive artificial intelligence service for analyzing non-contrast computed tomography image series of the chest and abdominal organs (including contrast-enhanced studies). Two datasets were used: dataset 1 included abdominal computed tomography scans, and dataset 2 comprised chest computed tomography scans. Each dataset consisted of 100 anonymized computed tomography studies of patients with ( $n = 50$ ) and without ( $n = 50$ ) adrenal neoplasms. The diagnostic accuracy of artificial intelligence-based software was determined by calculating the following statistical metrics: area under the receiver operating characteristic curve (AUC), accuracy, sensitivity, and specificity.

**RESULTS:** Testing of the artificial intelligence-based software on datasets with signs of adrenal neoplasms demonstrated high diagnostic accuracy metrics that exceeded the declared performance values. AUC ranged from 0.858 to 0.995 (the highest value was achieved by the artificial intelligence single-purpose service-2 for analyzing abdominal computed tomography images); specificity ranged from 0.920 to 1.000 (the highest value was achieved by the artificial intelligence comprehensive service-2 for analyzing chest computed tomography images); and sensitivity ranged from 0.739 to 1.000 (the highest values were achieved by the artificial intelligence single-purpose and artificial intelligence comprehensive service-2 for analyzing abdominal computed tomography images).

**CONCLUSION:** Artificial intelligence-based software for detecting adrenal neoplasms showed high diagnostic accuracy across all the evaluated metrics. Therefore, such systems may be effective for identifying adrenal neoplasms on chest and abdominal computed tomography scans of the chest and abdominal organs.

**Keywords:** computed tomography; artificial intelligence; neural networks; deep learning; adrenal neoplasms.

## To cite this article:

Shikhmuradov DU, Arzamasov KM, Bobrovskaya TM, Savkina EF, Erizhokov RA, Pestrenin LD. Application of Artificial Intelligence Technologies in Detecting Adrenal Neoplasms on Computed Tomography Scans. *Digital Diagnostics*. 2025;6(3):464–476. DOI: 10.17816/DD632355 EDN: WELCYI

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD632355>

EDN: WELCYI

# 基于人工智能技术的计算机断层扫描肾上腺肿瘤检测的应用经验

David U. Shikhmuradov, Kirill M. Arzamasov, Tatiana M. Bobrovskaya, Ekaterina F. Savkina, Rustam A. Erizhokov, Lev D. Pestrenin

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

## 摘要

**论证:** 肾上腺肿瘤是计算机断层扫描中常见的偶然发现。计算机断层扫描是其主要影像学方法,在多数情况下可提示病灶的病理学性质。目前,基于人工智能技术的软件正在积极研发与应用,用于计算机断层扫描检查中肾上腺肿瘤的检测。本研究旨在评估截至2024年第一季度已有的基于人工智能的软件在胸腹部计算机断层扫描检查中检测肾上腺肿瘤的诊断效能。

**目的:** 评估基于人工智能技术的软件在计算机断层扫描检查中检测肾上腺肿瘤的诊断效能。

**方法:** 测试了两类人工智能软件:单一服务软件,仅用于检测肾上腺肿瘤;综合性人工智能服务软件,用于分析腹部及胸部计算机断层扫描原始图像序列(包括静脉对比增强扫描)。研究采用两组数据集:数据集1为腹部计算机断层扫描,数据集2为胸部计算机断层扫描。每组数据均包含100例计算机断层扫描检查,其中存在肾上腺肿瘤征象( $n=50$ ),无征象( $n=50$ ),所有数据均经匿名化处理。通过计算以下统计指标对基于人工智能技术的软件的诊断效能进行评估:曲线下面积(AUC)、准确率、敏感性和特异性。

**结果:** 在含有肾上腺肿瘤征象的数据集上进行测试时,基于人工智能技术的软件达到了较高的诊断学准确性指标,并超过了声明的性能指标:AUC范围为0.858–0.995(最高值出现在用于分析腹部计算机断层扫描的单一服务软件-2);特异性范围为0.920–1.000(最高值出现在用于分析胸部计算机断层扫描的综合性人工智能软件-2);敏感性范围为0.739–1.000(最高值出现在用于分析腹部计算机断层扫描的单一服务软件-2和综合性人工智能软件-2)。

**结论:** 基于人工智能技术的软件在肾上腺肿瘤检测中展示了较高的诊断学准确性指标。因此,它们有望作为腹部和胸部计算机断层扫描中肾上腺肿瘤有效发现的方法之一。

**关键词:** 计算机断层扫描;人工智能;神经网络;深度学习;肾上腺肿瘤。

## 引用本文:

Shikhmuradov DU, Arzamasov KM, Bobrovskaya TM, Savkina EF, Erizhokov RA, Pestrenin LD. 基于人工智能技术的计算机断层扫描肾上腺肿瘤检测的应用经验. *Digital Diagnostics*. 2025;6(3):464–476. DOI: 10.17816/DD632355 EDN: WELCYI

收到: 21.05.2024

接受: 09.04.2025

发布日期: 08.10.2025

## ОБОСНОВАНИЕ

Новообразования надпочечников относят к числу наиболее частых находок при проведении компьютерной томографии (КТ). Согласно популяционным данным, их выявляемость при КТ достигает 4% [1, 2], а в группе пациентов старше 70 лет возрастает до 7–10% [3–5]. По данным сводных аутопсийных исследований, распространённость инциденталом надпочечников варьирует от 1 до 32%, составляя в среднем 6% [6, 7]. В свою очередь, в структуре всех новообразований надпочечников доля адренокортикального рака, по данным различных авторов, составляет 4–12% [8, 9].

Во многих случаях новообразования надпочечников обладают характерными признаками, которые могут быть выявлены с использованием неинвазивных методов диагностики. Основным методом визуализации является КТ, позволяющая в большинстве наблюдений предположить нозологическую форму образования [10–12].

В настоящее время активно разрабатывают и внедряют программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников при проведении КТ. Такие системы позволяют не только фиксировать факт наличия образования, но и выполнять его сегментацию на дополнительной серии DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) с графическим отображением, а также предоставляют информацию о размерах и рентгеновской плотности (в единицах Хаунсфилда) [13, 14].

Кроме того, технологии искусственного интеллекта активно используют для интерпретации результатов КТ органов грудной клетки и брюшной полости с целью выявления различных патологических изменений, включая нарушения воздушности лёгочной ткани и новообразования лёгких<sup>1</sup> [15–18]. Следует отметить, что программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для обнаружения новообразований надпочечников можно применять и при анализе изображений КТ органов грудной клетки, поскольку надпочечники, как правило, попадают в поле сканирования. Настоящее исследование посвящено оценке их диагностической эффективности в отношении выявления новообразований надпочечников по данным КТ органов грудной клетки и брюшной полости.

## ЦЕЛЬ

Оценить диагностическую эффективность программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта при выявлении новообразований надпочечников по данным КТ.

## МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Проведено ретроспективное многоцентровое выборочное исследование.

### Условия проведения исследования

В исследование включали данные пациентов, извлечённые из Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы.

Использовали два набора данных КТ<sup>2</sup>:

- органов брюшной полости (набор данных № 1);
- органов грудной клетки (набор данных № 2).

Каждый набор данных состоял из 100 исследований КТ с наличием ( $n=50$ ) и отсутствием ( $n=50$ ) признаков новообразований надпочечников, предварительно анонимизированных [19, 20]. Для формирования двух наборов данных использовали результаты КТ пациентов старше 18 лет. Формирование набора данных осуществляли в соответствии с методологией их подготовки, разработанной в Научно-практическом клиническом центре диагностики и телемедицинских технологий [21, 22].

Верификацию данных осуществляли путём пересмотра результатов КТ двумя врачами-рентгенологами с опытом работы более трёх лет. Исследование классифицировали как патологическое при достижении консенсуса между двумя врачами. В случае их разногласия подключали эксперта (опыт работы более 5 лет). Решение о включении исследования в набор данных принимали на основании согласия эксперта. Критериями отнесения к классу с патологией были наличие образования тела или ножек надпочечника с размером по короткой оси  $\geq 10$  мм на нативных изображениях, без патологии — отсутствие перечисленных признаков.

### Критерии соответствия

*Критерии включения.* При создании набора данных № 1 использовали:

- изображения КТ органов брюшной полости и малого таза с внутривенным контрастированием и без него;
- изображения КТ органов брюшной полости с контрастированием и без него;
- изображения КТ почек и мочевыводящих путей с контрастированием и без него;
- изображения КТ надпочечников.

При создании набора данных № 2 использовали результаты КТ органов грудной клетки с внутривенным контрастированием и без него.

<sup>1</sup> Базовые диагностические требования к результатам работы ИИ-сервисов [интернет]. В: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, 2024–2024. Режим доступа: <https://mosmed.ai/ai/docs/> Дата обращения: 13.04.2024.

<sup>2</sup> Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621091/ 04.04.2023. Бюл. № 4. Васильев Ю.А., Туравилова Е.В., Шулькин И.М., и др. MosMedData: КТ с признаками образований надпочечников. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_52121913\\_33574960.PDF](https://elibrary.ru/download/elibrary_52121913_33574960.PDF) Дата обращения: 13.04.2024.

*Критерии не включения:*

- состояния после оперативных вмешательств;
- технические дефекты;
- изображения, полученные при несоблюдении методики сканирования;
- отсутствие врачебной валидации.

**Программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта**

В настоящее время в условиях Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения Москвы для выявления и оценки новообразований надпочечников свои решения представили две компании: ООО «Интел диагностик» и ООО «АЙРА Лабс», которые в дальнейшем по тексту будут анонимизированы и деперсонализированы. Решение каждой компании представлено двумя модификациями:

- моносервис, определяющий только новообразования надпочечников;
- комплексный сервис на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ-сервис) для оценки изображений КТ органов брюшной полости и грудной клетки.

Комплексный ИИ-сервис предназначался для определения признаков до 11 патологий при анализе результатов КТ органов грудной клетки и до 6 патологий — КТ органов брюшной полости, включая и новообразования надпочечников.

Модели на основе искусственного интеллекта анализируют нативные серии исследования, а также изображения, полученные после внутривенного контрастирования, представленные в формате DICOM и содержащие данные КТ органов грудной клетки или брюшной полости.

Результаты работы программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта представлены в виде текстового отчёта [DICOM Structured Report (SR)], содержащего сведения о наличии или отсутствии новообразований надпочечников, их количестве, размерах и рентгеновской плотности (в единицах Хаунсфилда), а также в виде дополнительной серии DICOM с графическим оконтуриванием областей интереса и отображением размеров и плотности новообразований. При этом методологию определения патологии каждый разработчик выбирал самостоятельно, однако в настоящей работе мы это не рассматривали.

Заявленные метрики диагностической эффективности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта при выявлении новообразований надпочечников по данным КТ органов грудной клетки и брюшной полости представлены в табл. 1.

Примеры работы ИИ-сервисов для диагностики новообразований надпочечников продемонстрированы на рис. 1.

**Основной исход исследования**

Оценка диагностической эффективности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта в отношении выявления новообразований надпочечников по данным КТ органов грудной клетки и брюшной полости.

**Методы регистрации исходов**

Оценку точности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта проводили путём расчёта следующих метрик<sup>3</sup>:

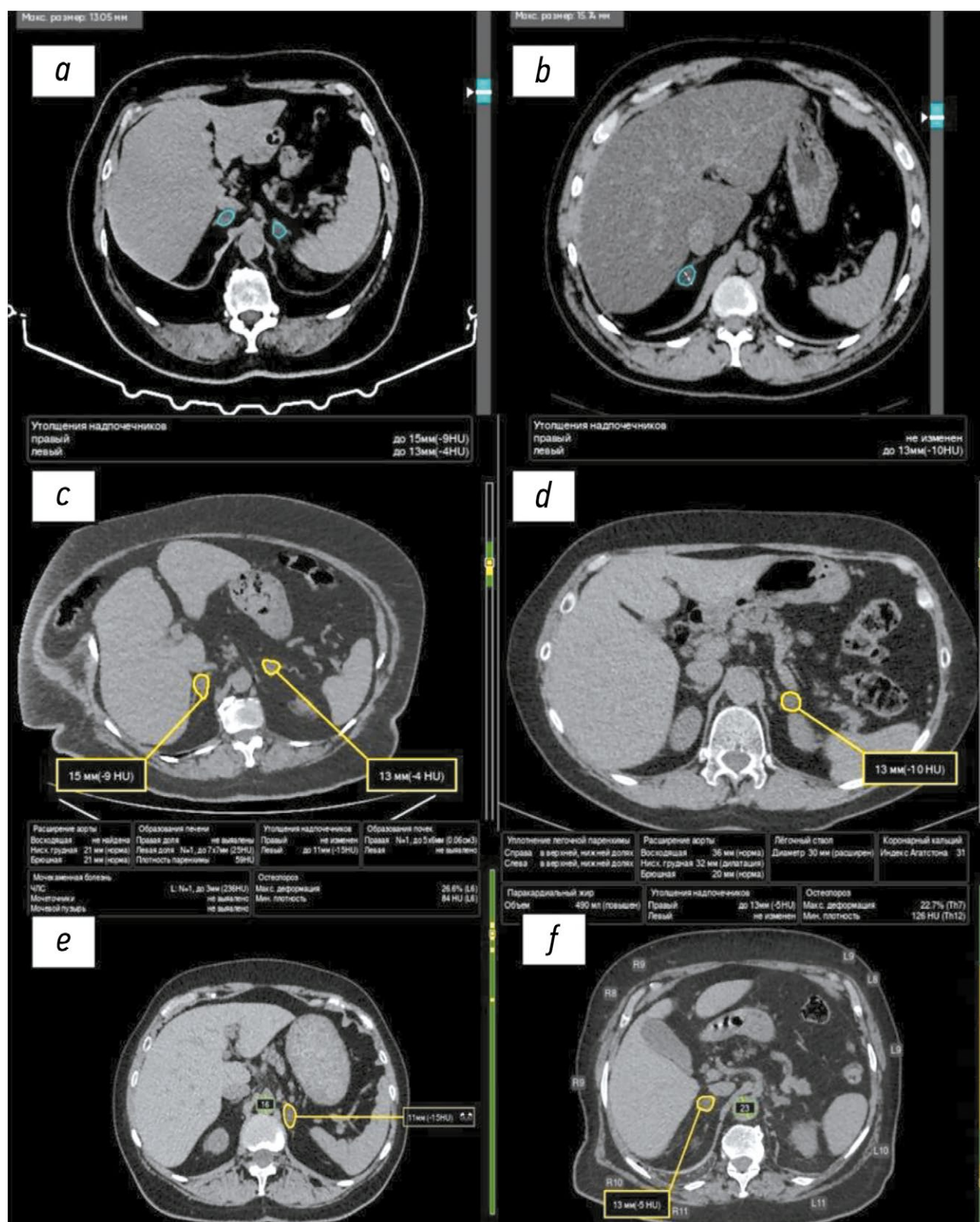
- AUC (Area Under the Curve);
- точности;
- чувствительности;
- специфичности.

**Таблица 1.** Заявленные показатели диагностической точности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта для диагностики новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости

| Сервисы искусственного интеллекта    | Area Under the Curve | Чувствительность | Специфичность | Точность |
|--------------------------------------|----------------------|------------------|---------------|----------|
| МСИИ-1 (для анализа изображений ОБП) | 0,82                 | 0,81             | 0,83          | 0,81     |
| МСИИ-1 (для анализа изображений ОГК) | 0,84                 | 0,84             | 0,84          | 0,81     |
| КСИИ-1 (для анализа изображений ОГК) | 0,84                 | 0,84             | 0,84          | 0,81     |
| МСИИ-2 (для анализа изображений ОБП) | 0,93                 | 0,84             | 0,91          | 0,88     |
| КСИИ-2 (для анализа изображений ОГК) | 0,93                 | 0,84             | 0,91          | 0,88     |
| КСИИ-2 (для анализа изображений ОБП) | 0,93                 | 0,89             | 0,92          | 0,9      |

*Примечание.* ОБП — органы брюшной полости; ОГК — органы грудной клетки; МСИИ — моносервис на основе искусственного интеллекта; КСИИ — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта.

<sup>3</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617324/ 19.04.2022. Бюл. № 4. Морозов С.П., Андрейченко А.Е., Четвериков С.Ф., и др. Веб-инструмент для выполнения ROC анализа результатов диагностических тестов. Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_48373757\\_42748544.PDF](https://elibrary.ru/download/elibrary_48373757_42748544.PDF) Дата обращения: 13.04.2024.



**Рис. 1.** Примеры работы сервисов искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости: *а, б* — сервис на основе искусственного интеллекта-1 для диагностики новообразований надпочечников: голубым контуром обведены новообразования надпочечников на изображениях компьютерной томографии органов брюшной полости; *с, д* — сервис на основе искусственного интеллекта-2 для диагностики новообразований надпочечников: жёлтым контуром обведены новообразования надпочечников на изображениях компьютерной томографии органов брюшной полости; *е, ж* — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-2 для диагностики новообразований надпочечников: жёлтым контуром обведено образование левого надпочечника (*е*) на изображении компьютерной томографии органов брюшной полости и правого надпочечника (*ж*) на изображении компьютерной томографии органов грудной клетки.

Точность ( $Ac$ ) оценивали как отношение количества правильно классифицированных случаев к общему числу наблюдений:

$$Ac = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP}, \quad (1)$$

где  $TP$  — количество истинно положительных результатов;  $TN$  — количество истинно отрицательных результатов;  $FN$  — количество ложноотрицательных результатов;  $FP$  — количество ложноположительных результатов.

Чувствительность ( $Se$ ) оценивали как долю истинно положительных результатов:

$$Se = \frac{TP}{TP+FN}, \quad (2)$$

где  $TP$  — количество истинно положительных результатов;  $FN$  — количество ложноотрицательных результатов.

Специфичность ( $Sp$ ) оценивали как долю истинно отрицательных результатов:

$$Sp = \frac{TN}{FP+TN}, \quad (3)$$

где  $TN$  — количество истинно отрицательных результатов;  $FP$  — количество ложноположительных результатов.

## Этическая экспертиза

Данное исследование основано на результатах Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения Москвы, одобренного этическим комитетом НЗК МРО РОПР (протокол № 2 от 20.02.2020), а также зарегистрированного на ClinicalTrials (NCT04489992).

## Статистический анализ

Общие метрики ИИ-сервисов, представленные в результатах, рассчитаны с 95% доверительным интервалом. Сравнение и расчёт  $p$  проводили с помощью функции `roc.test` языка R (`method="delong"`). Проверяли нулевую гипотезу об отсутствии статистически значимых различий между программными обеспечениями на основе технологий искусственного интеллекта. Уровень статистической значимости  $p=0,05$  (двусторонний).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Характеристика выборки

Демографические характеристики выборки пациентов, чьи результаты КТ включены в наборы данных, представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Демографические характеристики выборки пациентов, чьи результаты компьютерной томографии включены в наборы данных

| Набор данных | Возраст, лет |     |         | Пол, $n$ |         |
|--------------|--------------|-----|---------|----------|---------|
|              | Min          | Max | Средний | Мужской  | Женский |
| № 1          | 19           | 90  | 59      | 29       | 71      |
| № 2          | 50           | 94  | 68      | 40       | 60      |

## Основные результаты исследования

Для каждого программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта построена характеристическая кривая. ROC-кривые сглажены, точками показаны изменения чувствительности и специфичности при дискретном изменении порога в соответствии с дискретным увеличением вероятности патологии (рис. 2, 3).

Результаты тестирования работы программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников при анализе изображений КТ органов грудной клетки и брюшной полости представлены в табл. 3.

Результаты сравнения значений AUC ИИ-сервисов продемонстрированы в табл. 4.

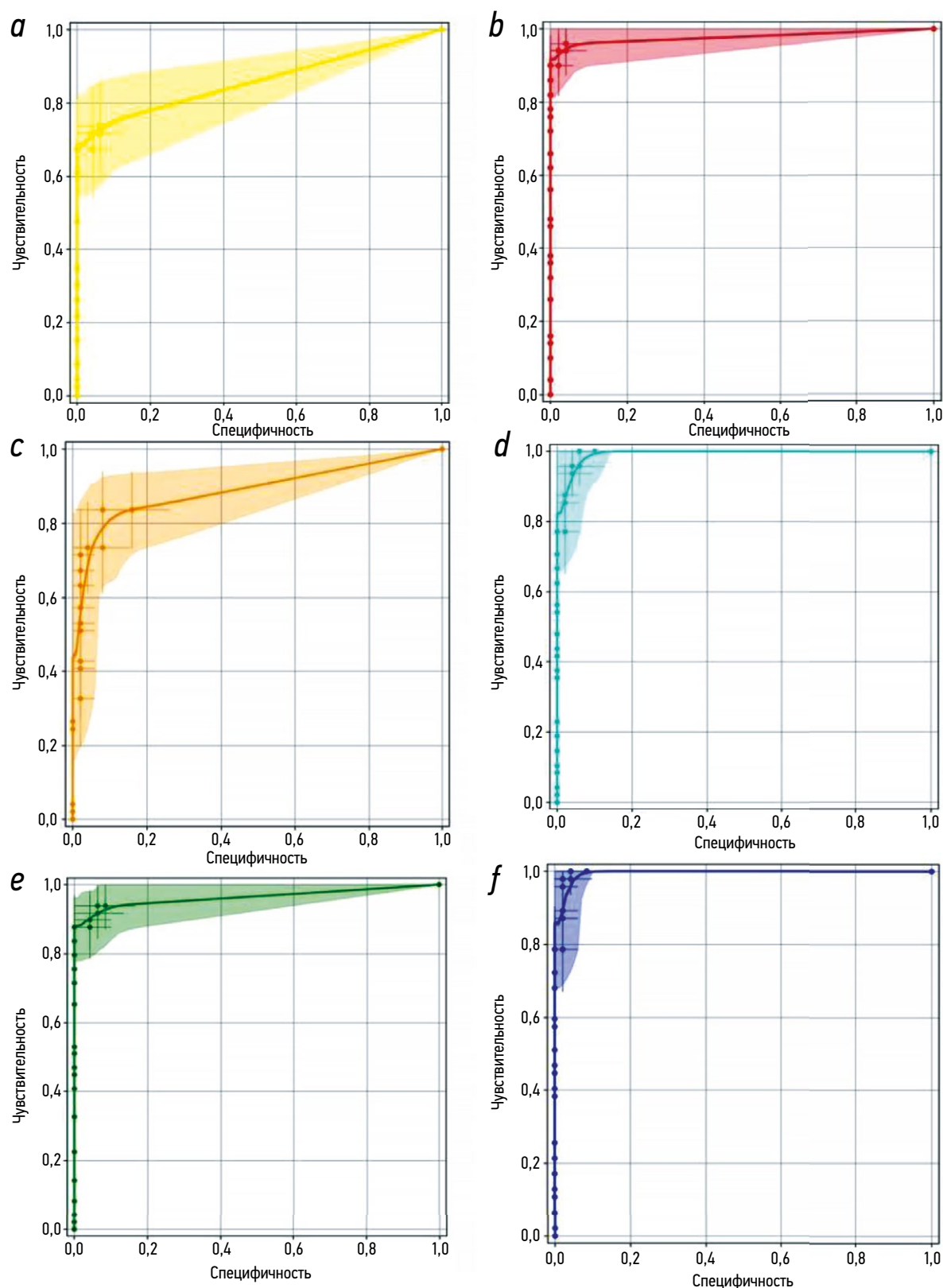
Как следует из представленных данных, программные обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта обладают высокими метриками диагностической точности: AUC, чувствительность, специфичность и точность составили более 86, 74, 92 и 84% соответственно. Для ИИ-сервисов-2 получены максимальные значения для специфичности и чувствительности. С целью комплексной оценки их баланса можно использовать метрику точность. По абсолютным её значениям комплексный ИИ-сервис-2 (для анализа результатов КТ органов брюшной полости) показал наилучшие показатели.

## ОБСУЖДЕНИЕ

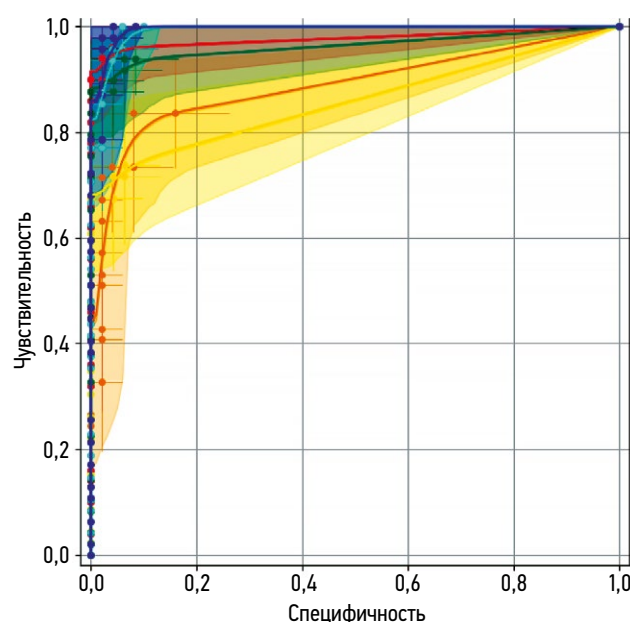
При внедрении в клиническую практику новых методик или технологий необходимо оценивать их влияния на текущие диагностические процессы. Это в полной мере относится и к решениям на основе искусственного интеллекта в лучевой диагностике, где важна корректная идентификация оптимальной области их применения [23].

В результате проверки ИИ-сервисов для выявления новообразований надпочечников на тестовых наборах данных получены высокие значения метрик диагностической точности, при этом для отдельных параметров зафиксированы максимальные показатели.

Относительно низкая специфичность ИИ-сервисов при выявлении новообразований надпочечников обусловлена ложноположительными результатами, когда за патологию ошибочно приняты анатомические структуры (сосуды, ножки диафрагмы, лимфатические узлы) или контурированы неизменённые надпочечники. Снижение чувствительности связано с ложноотрицательными случаями — пропуском отдельных новообразований надпочечников или неполной их разметкой.



**Рис. 2.** Характеристические кривые сервисов на основе искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости: *a* — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-1 (для анализа изображений органов грудной клетки); *b* — моносервис на основе искусственного интеллекта-1 (для анализа изображений органов брюшной полости); *c* — моносервис на основе искусственного интеллекта-1 (для анализа изображений органов грудной клетки); *d* — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-2 (для анализа изображений органов брюшной полости); *e* — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-2 (для анализа изображений органов грудной клетки); *f* — моносервис на основе искусственного интеллекта-2 (для анализа изображений органов брюшной полости).



**Рис. 3.** Результаты ROC-анализа всех сервисов на основе искусственного интеллекта для выявления новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости: жёлтый — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-1 (для анализа изображений органов грудной клетки); красный — моносервис на основе искусственного интеллекта-1 (для анализа изображений органов грудной клетки); оранжевый — моносервис на основе искусственного интеллекта-1 (для анализа изображений органов брюшной полости); голубой — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-2 (для анализа изображений органов брюшной полости); зелёный — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта-2 (для анализа изображений органов грудной клетки); синий — моносервис на основе искусственного интеллекта-2 (для анализа изображений органов брюшной полости).

**Таблица 3.** Метрики диагностической точности программных обеспечений на основе технологий искусственного интеллекта для диагностики новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости на тестовой выборке

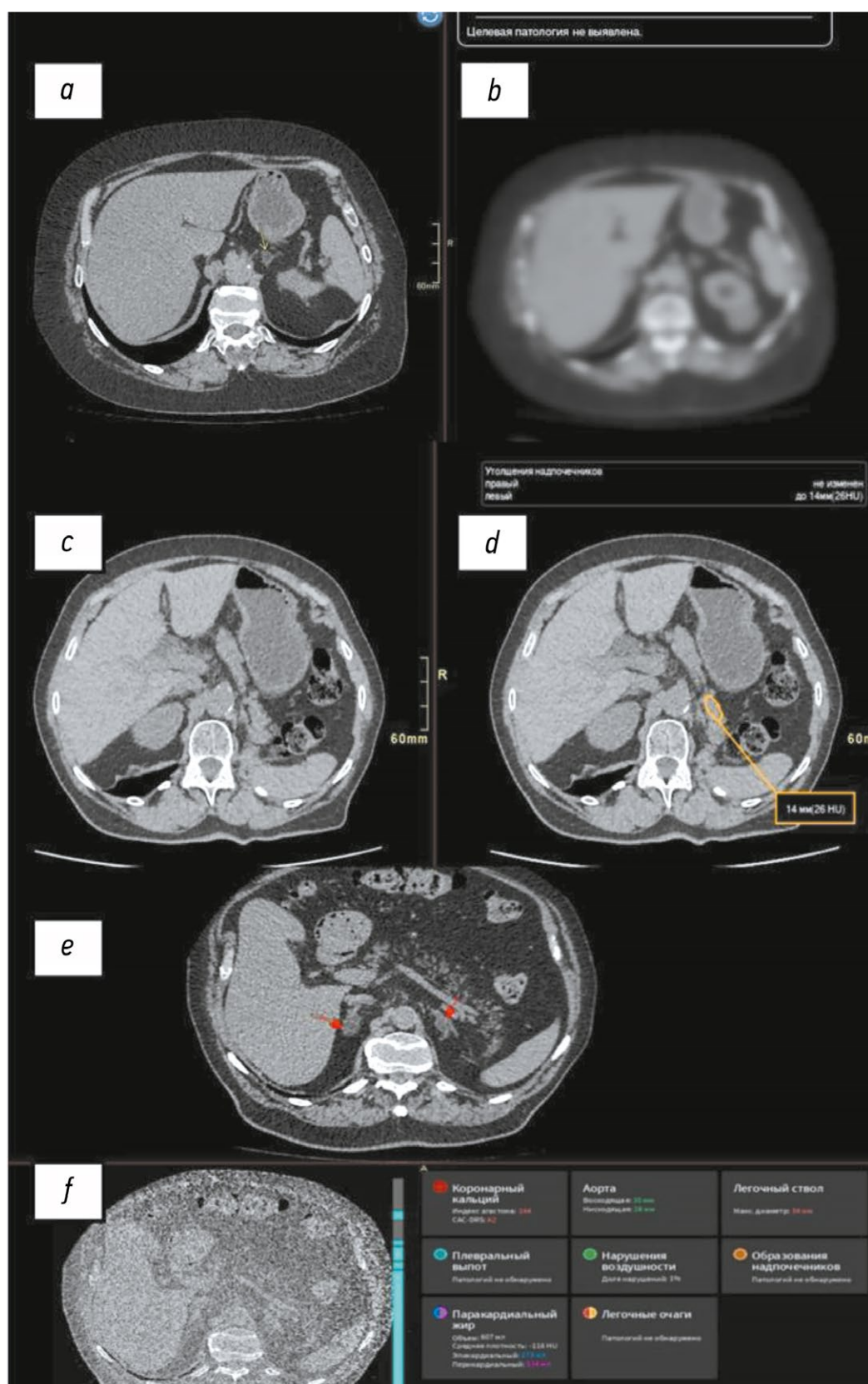
| Сервисы искусственного интеллекта | Area Under the Curve (95% ДИ) | Чувствительность (95% ДИ)* | Специфичность (95% ДИ)* | Точность (95% ДИ)*  |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|
| МСИИ-1 (изображения ОБП)          | 0,978 (0,949–1,000)           | 0,940 (0,874–1,000)        | 0,980 (0,941–1,000)     | 0,960 (0,922–0,998) |
| МСИИ-1 (изображения ОГК)          | 0,888 (0,823–0,952)           | 0,837 (0,733–0,940)        | 0,920 (0,845–0,995)     | 0,879 (0,814–0,943) |
| КСИИ-1 (изображения ОГК)          | 0,858 (0,793–0,926)           | 0,739 (0,612–0,866)        | 0,938 (0,869–1,000)     | 0,840 (0,766–0,914) |
| МСИИ-2 (изображения ОБП)          | 0,995 (0,985–1,000)           | 1,000 (1,000–1,000)        | 0,958 (0,902–1,000)     | 0,979 (0,950–1,000) |
| КСИИ-2 (изображения ОГК)          | 0,964 (0,927–1,000)           | 0,878 (0,786–0,969)        | 1,000 (1,000–1,000)     | 0,938 (0,889–0,986) |
| КСИИ-2 (изображения ОБП)          | 0,993 (0,982–1,000)           | 1,000 (1,000–1,000)        | 0,940 (0,874–1,000)     | 0,969 (0,935–1,000) |

*Примечание.* \* — метрики рассчитаны для порогового значения, определённого по максимуму индекса Юдена. ОБП — органы брюшной полости; ОГК — органы грудной клетки; МСИИ — моносервис на основе искусственного интеллекта; КСИИ — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта; ДИ — доверительный интервал.

**Таблица 4.** Сравнение значений площади под характеристической кривой для сервисов искусственного интеллекта при выявлении новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости

| i                        | j                        |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                          | МСИИ-1 (изображения ОБП) | МСИИ-1 (изображения ОГК) | КСИИ-1 (изображения ОГК) | МСИИ-2 (изображения ОБП) | КСИИ-2 (изображения ОГК) | КСИИ-2 (изображения ОБП) |
| МСИИ-1 (изображения ОБП) | 0,978                    | <b>0,090</b>             | <b>0,120</b>             | –0,017                   | 0,014                    | –0,015                   |
| МСИИ-1 (изображения ОГК) | <b>–0,090</b>            | 0,888                    | 0,030                    | <b>–0,107</b>            | <b>–0,076</b>            | <b>–0,105</b>            |
| КСИИ-1 (изображения ОГК) | <b>–0,120</b>            | –0,030                   | 0,858                    | <b>–0,137</b>            | <b>–0,106</b>            | <b>–0,135</b>            |
| МСИИ-2 (изображения ОБП) | 0,017                    | <b>0,107</b>             | <b>0,137</b>             | 0,995                    | 0,031                    | 0,002                    |
| КСИИ-2 (изображения ОГК) | –0,014                   | <b>0,076</b>             | <b>0,106</b>             | –0,031                   | 0,964                    | –0,029                   |
| КСИИ-2 (изображения ОБП) | 0,015                    | <b>0,105</b>             | <b>0,135</b>             | –0,002                   | 0,029                    | 0,993                    |

*Примечание.* В ячейках представлена разность значений площади под характеристической кривой для сервисов на основе искусственного интеллекта, прописанных в строке (i) и столбце (j). На главной диагонали указано значение площади под характеристической кривой соответствующего строке и столбцу сервиса на основе искусственного интеллекта. Статистически значимые различия при  $p < 0,05$ . Статистически значимые различия выделены зелёным цветом и жирным шрифтом. ОБП — органы брюшной полости; ОГК — органы грудной клетки; МСИИ — моносервис на основе искусственного интеллекта; КСИИ — комплексный сервис на основе искусственного интеллекта.



**Рис. 4.** Примеры некорректного срабатывания сервисов на основе искусственного интеллекта при выявлении новообразований надпочечников: *a* — пропущенное новообразование надпочечника (жёлтая стрелка); *b* — пропуск сервисом на основе искусственного интеллекта новообразования левого надпочечника (ложноотрицательный результат); *c* — результаты компьютерной томографии органов брюшной полости; *d* — оконтуривание хвоста поджелудочной железы в качестве новообразования надпочечника (ложноположительный результат); *e* — невыявленные новообразования надпочечников (красные стрелки); *f* — пропуск комплексным сервисом на основе искусственного интеллекта новообразований надпочечников по данным компьютерной томографии органов грудной клетки в лёгочном режиме (ложноотрицательный результат).

Это могло быть связано, в частности, с использованием для анализа данных КТ, реконструированных по «костным» фильтрам, на которых мягкотканые структуры визуализируются недостаточно чётко.

Примеры некорректной работы ИИ-сервисов при выявлении новообразований надпочечников представлены на рис. 4.

Согласно данным литературы, зарубежные авторы также используют системы на основе технологий искусственного интеллекта для выявления новообразования надпочечников. Так, С. Robinson-Weiss и соавт. [24] разработали модель машинного обучения для сегментации надпочечников на изображениях КТ с внутривенным контрастным усилением и их последующей классификации как нормальных либо содержащих новообразование. Для оценки модели на основе искусственного интеллекта использовали два набора данных (ретроспективные данные): набор данных-1 включал 274 исследования КТ (средний возраст 61 год; 133 женщины); набор данных-2 — 991 исследование КТ (средний возраст 62 года; 578 женщин). При тестировании на наборе данных-1 чувствительность и специфичность составили 83 и 89% соответственно; на наборе данных-2 — 69 и 91% соответственно.

В нашем исследовании задачей программных обеспечений на основе искусственного интеллекта было выявление новообразования надпочечников по данным нативной фазы КТ. С практической точки зрения функциональность достаточна для снижения риска пропуска патологических образований и привлечения внимания врача-рентгенолога. Тем не менее для решения задачи классификации новообразований необходимо внутривенное контрастирование. Так, Р. Alimu и соавт. [25] использовали ИИ-сервисы на основе методов глубокого обучения для количественной оценки и сегментации функциональных опухолей надпочечников на изображениях КТ с контрастным усилением. При этом модель достигла значения AUC 0,915.

Подобный подход реализован в исследовании Н. Chai и соавт. [26], где авторы предложили автоматизированный метод анализа изображений КТ с контрастным усилением, включающий алгоритмы сегментации, выделения радиомических признаков и последующей классификации опухолей надпочечников. Разработанный инструмент интегрирован в программный интерфейс MATLAB® (Graphical User Interface, GUI) (MathWorks, Inc., США) и протестирован на 236 исследованиях КТ, показав точность классификации опухолей до 90%.

В нашем исследовании все решения на основе технологий искусственного интеллекта для обнаружения новообразований надпочечников продемонстрировали высокие показатели диагностической точности, обеспечивая чувствительность и специфичность в диапазоне 74–100 и 92–100% соответственно.

## Ограничения исследования

Оценку морфометрических данных (размеров и плотности новообразований надпочечников) в настоящем исследовании не проводили. Разброс данных и их влияние на результаты работы ИИ-сервисов являются предметом дальнейших исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования программные решения на основе технологий искусственного интеллекта можно использовать в клинической практике как эффективный инструмент для выявления новообразований надпочечников, демонстрируя чувствительность, специфичность и точность 74–100, 92–100 и 84–98% соответственно. При этом сохраняется вероятность ложноположительных и ложноотрицательных результатов, что может быть связано с особенностями синтопии (например, у пациентов после оперативных вмешательств на органах брюшной полости или при низком индексе массы тела). Повышение качества программных обеспечений на основе искусственного интеллекта возможно за счёт их дообучения на более разнообразных, репрезентативных и качественных данных, что позволит снизить вероятность ошибочной идентификации анатомических структур как патологических изменений и минимизировать случаи пропуска.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Д.У. Шихмурадов — сбор и анализ литературных данных, анализ и интерпретация результатов исследования, написание и редактирование текста рукописи, подготовка графических материалов; Т.М. Бобровская, Е.Ф. Савкина, Р.А. Ерижиков, Л.Д. Пестренин — сбор и анализ литературных данных, анализ и интерпретация результатов исследования; К.М. Арзамасов — концепция и дизайн исследования, критическая оценка работы. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части. **Этическая экспертиза.** Данное исследование основано на результатах Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения Москвы, одобренного этическим комитетом НЭК МРО РОПР (протокол № 2 от 20.02.2020), также зарегистрированного на ClinicalTrials (NCT04489992).

**Источники финансирования.** Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Научные методологии устойчивого развития технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике», (ЕГИСУ: № 123031500004-5) в соответствии с Приказом № 1196 от 21 декабря 2022 г. «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счёт средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

**Доступ к данным.** Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали три внешних рецензента и член редакционной коллегии журнала.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contributions:** D.U. Shikhmuradov: data curation, formal analysis, investigation, writing—original draft, writing—review & editing, visualization; T.M. Bobrovskaya, E.F. Savkina, R.A. Erizhkov, L.D. Pestrenin: data curation, formal analysis, investigation; K.M. Arzamasov: conceptualization, methodology, supervision, writing—review & editing. All the authors approved the final version of the manuscript for publication and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

**Ethics approval:** This study is based on the results of the Experiment on the use of innovative computer vision technologies for analysis of medical images in the Moscow healthcare system, which was approved by the Ethics

Committee of the Independent Ethics Council of the Moscow Regional Branch of the Russian Society of Radiologists (Minutes No. 2 dated February 20, 2020), registered at ClinicalTrials (NCT04489992).

**Funding sources:** This article was prepared by the author team as part of the research project “Scientific Methodologies for the Sustainable Development of Artificial Intelligence Technologies in Medical Diagnostics” (EGISU No. 123031500004-5), in accordance with Order No. 1196 dated December 21, 2022, On the Approval of State Assignments Funded from the Budget of the City of Moscow for State Budgetary (Autonomous) Institutions Subordinate to the Moscow City Health Department for 2023 and the Planned Period of 2024–2025, issued by the Moscow City Health Department.

**Disclosure of interests:** The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

**Statement of originality:** No previously published material (text, images, or data) was used in this study or article.

**Data availability statement:** The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

**Generative AI:** No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

**Provenance and peer-review:** This article was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers and a member of the Editorial Board, and the in-house science editor.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Fassnacht M, Arlt W, Bancos I, et al. Management of Adrenal Incidentalomas: European Society of Endocrinology Clinical Practice Guideline in collaboration with the European Network for the Study of Adrenal Tumors. *European Journal of Endocrinology*. 2016;175(2):G1–G34. doi: 10.1530/EJE-16-0467
2. Bovio S, Cataldi A, Reimondo G, et al. Prevalence of Adrenal Incidentaloma in a Contemporary Computerized Tomography Series. *Journal of Endocrinological Investigation*. 2006;29(4):298–302. doi: 10.1007/bf03344099 EDN: QSYXSD
3. Pacak K, Eisenhofer G, Grossman A. The Incidentally Discovered Adrenal Mass. *The New England Journal of Medicine*. 2007;356(19):2005–2006. doi: 10.1056/NEJMc070612
4. Song JH, Chaudhry FS, Mayo-Smith WW. The Incidental Adrenal Mass on CT: Prevalence of Adrenal Disease in 1,049 Consecutive Adrenal Masses in Patients with No Known Malignancy. *American Journal of Roentgenology*. 2008;190(5):1163–1168. doi: 10.2214/AJR.07.2799
5. Kloos RT, Gross MD, Francis IR, et al. Incidentally Discovered Adrenal Masses. *Endocrine Reviews*. 1995;16(4):460–484. doi: 10.1210/edrv-16-4-460
6. Berruti A, Baudin E, Gelderblom H, et al. Adrenal Cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for Diagnosis, Treatment and Follow-up. *Annals of Oncology*. 2012;23:vii131–vii138. doi: 10.1093/annonc/mds231
7. Clark OH, Benson AB 3rd, Berlin JD, et al; NCCN Neuroendocrine Tumors Panel Members. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology: Neuroendocrine Tumors. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network*. 2009;7(7):712–747. doi: 10.6004/jnccn.2009.0050
8. Kalshnikova MF, Ustyugova AV. Examination of Patients With Adrenal Incidentaloma. *The Clinician*. 2008;3(4):35–40. EDN: LMCJRN
9. Komisarenko IV, Rybakov SI, Kvachenyuk AN. Experience of Combined Treatment of Patients With Adrenocortical Cancer. *Oncology*. 2005;7(3):264–266. (In Russ.)
10. Fassnacht M, Tsagarakis S, Terzolo M, et al. European Society of Endocrinology Clinical Practice Guidelines on the Management of Adrenal Incidentalomas, in Collaboration with the European Network for the Study of Adrenal Tumors. *European Journal of Endocrinology*. 2023;189(1):G1–G42. doi: 10.1093/ejendo/lvad066 EDN: EZKFAO
11. Park JJ, Park BK, Kim CK. Adrenal Imaging for Adenoma Characterization: Imaging Features, Diagnostic Accuracies and Differential Diagnoses. *The British Journal of Radiology*. 2016;89(1062):20151018. doi: 10.1259/bjr.20151018
12. Korivi BR. Cross-sectional Imaging Work-up of Adrenal Masses. *World Journal of Radiology*. 2013;5(3):88–97. doi: 10.4329/wjr.v5.i3.88
13. Bi L, Kim J, Su T, et al. Deep Multi-Scale Resemblance Network for the Sub-Class Differentiation of Adrenal Masses on Computed Tomography Images. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2022;132:102374. doi: 10.1016/j.artmed.2022.102374 EDN: HGRSUL
14. Kim TM, Choi SJ, Ko JY, et al. Fully Automatic Volume Measurement of the Adrenal Gland on CT Using Deep Learning to Classify Adrenal Hyperplasia. *European Radiology*. 2022;33(6):4292–4302. doi: 10.1007/s00330-022-09347-5 EDN: KASVJB
15. Morozov SP, Vladimirovskiy AV, Klyashtorny V, et al. *Clinical Trials of Software Based on Intelligent Technologies (Radiology)*. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2019. EDN: CBFYFL (In Russ.)
16. Morozov SP, Vladimirovskiy AV, Ledikhova NV, et al. *Using AI-based Services to Analyze X-ray Images*. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2020. EDN: AIXXDU (In Russ.)
17. Vasilev YA, Vladymyrskiy AV, Arzamasov KM, et al. Prospects of Using Computer Vision Technology to Detect Urinary Stones and Liver and Kidney Neoplasms on Computed Tomography Images of the Abdomen and Retroperitoneal Space. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):101–119. doi: 10.17816/DD515814 EDN: GOUWGH
18. Trusov Y, Chupakhina VS, Nurkaeva AS, et al. Use of Artificial Intelligence in the Diagnosis of Arterial Calcification. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):85–100. doi: 10.17816/DD623196 EDN: DDJDBN
19. Chetverikov SF, Arzamasov KM, Andreichenko AE, et al. Approaches to Sampling for Quality Control of Artificial Intelligence in Biomedical Research. *Sovremennye tekhnologii v medicinu*. 2023;15(2):19–27. doi: 10.17691/stm2023.15.2.02 EDN: FUKXYC
20. Bobrovskaya TM, Vasilev YA, Nikitin NY, et al. Sample Size for Assessing A Diagnostic Accuracy of AI-based Software in Radiology. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2024;39(3):188–198. doi: 10.29001/2073-8552-2024-39-3-188-198 EDN: BPCPLL
21. Bobrovskaya TM, Vasilev YA, Nikitin NY, et al. Approaches to Building Radiology Datasets. *Vrach i informacionnye tekhnologii*. 2023;4(4):14–23. doi: 10.25881/18110193\_2023\_4\_14 EDN: EQHEKE

22. Vasilev YuA, Arzamasov KM, Vladzimirskyy AV, Et Al. *Preparing a Dataset for Training and Testing Software Based on Artificial Intelligence Technology*. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2024. ISBN: 978-5-0062-1244-2 EDN: VBSCJE (In Russ.)

23. Arzamasov KM, Vasilev YA, Vladzimirskyy AV, et al. The Use of Computer Vision for the Mammography Preventive Research. *Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2023;26(6):117–123. doi: 10.17116/profmed202326061117 EDN: YBKHPS

24. Robinson-Weiss C, Patel J, Bizzo BC, et al. Machine Learning for Adrenal Gland Segmentation and Classification of Normal and Adrenal Masses at CT. *Radiology*. 2023;306(2):e220101. doi: 10.1148/radiol.220101

25. Alimu P, Fang C, Han Y, et al. Artificial Intelligence With a Deep Learning Network for the Quantification and Distinction of Functional Adrenal Tumors Based on Contrast-Enhanced CT Images. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2023;13(4):2675–2687. doi: 10.21037/qims-22-539 EDN: YBW0GB

26. Chai H, Guo Y, Wang Y, Zhou G. Automatic Computer Aided Analysis Algorithms and System for Adrenal Tumors on CT Images. *Technology and Health Care*. 2017;25(6):1105–1118. doi: 10.3233/THC-160597

## ОБ АВТОРАХ

\* **Шихмуратов Давид Уружбегович;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;

ORCID: 0000-0003-1597-5786;

eLibrary SPIN: 9641-0913;

e-mail: ShikhmuradovDU@zdrav.mos.ru

**Арзамасов Кирилл Михайлович,** д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0001-7786-0349;

eLibrary SPIN: 3160-8062;

e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

**Бобровская Татьяна Михайловна;**

ORCID: 0000-0002-2746-7554;

eLibrary SPIN: 3400-8575;

e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

**Савкина Екатерина Феликсовна;**

ORCID: 0000-0001-9165-0719;

eLibrary SPIN: 4986-5592;

e-mail: SavkinaEF@zdrav.mos.ru

**Ерижиков Рустам Арсеньевич;**

ORCID: 0009-0007-3636-2889;

eLibrary SPIN: 2274-6428;

e-mail: ErizhokovRA@zdrav.mos.ru

**Пестренин Лев Дмитриевич;**

ORCID: 0000-0002-1786-4329;

eLibrary SPIN: 7193-7706;

e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru

## AUTHORS' INFO

\* **David U. Shikhmuradov,** MD;

address: 24 Petrovka st, bldg 1, Moscow, Russia, 127051;

ORCID: 0000-0003-1597-5786;

eLibrary SPIN: 9641-0913;

e-mail: ShikhmuradovDU@zdrav.mos.ru

**Kirill M. Arzamasov,** MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-7786-0349;

eLibrary SPIN: 3160-8062;

e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

**Tatiana M. Bobrovskaya;**

ORCID: 0000-0002-2746-7554;

eLibrary SPIN: 3400-8575;

e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

**Ekaterina F. Savkina;**

ORCID: 0000-0001-9165-0719;

eLibrary SPIN: 4986-5592;

e-mail: SavkinaEF@zdrav.mos.ru

**Rustam A. Erizhokov,** MD;

ORCID: 0009-0007-3636-2889;

eLibrary SPIN: 2274-6428;

e-mail: ErizhokovRA@zdrav.mos.ru

**Lev D. Pestrenin;**

ORCID: 0000-0002-1786-4329;

eLibrary SPIN: 7193-7706;

e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author