

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ УЗЛОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ



© А.А. Трухин^{1,2*}, С.М. Захарова¹, М.Е. Дунаев², М.П. Исаева¹, А.А. Гармаш², Е.А. Трошина¹

¹Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия

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

Достижения в разработке средств обработки медицинских изображений дают возможность выделять клинически значимые характеристики, ранее не доступные классическим методам медицинской визуализации. Огромным потенциалом для анализа медицинских изображений обладает ультразвуковая диагностика узловых образований щитовидной железы. В статье представлен обзор существующих систем классификации стратификации риска злокачественности узловых образований щитовидной железы при ультразвуковом исследовании TIRADS (Thyroid Imaging Reporting and Data System).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ультразвуковая диагностика; интеллектуальные технологии; искусственный интеллект; узловые образования щитовидной железы; TIRADS; сегментация; классификация.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIFFERENTIAL THYROID NODULES ULTRASOUND DIAGNOSTICS

© Alexey A. Trukhin^{1,2*}, Svetlana M. Zakharova¹, Maxim Y. Dunaev², Maria P. Isaeva¹, Alexandr A. Garmash², Ekaterina A. Troshina¹

¹Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

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

Advances in the development and improvement of medical technologies and methods of processing medical images make it possible to highlight clinically significant characteristics that were not previously available to classical methods of medical imaging. Ultrasound diagnostics of thyroid gland nodules has a huge potential medical images processing. The article presents an overview of the existing ultrasound classification systems for thyroid nodules malignancy and the prospects for the development of intellectual tools TIRADS (Thyroid Imaging Reporting and Data System) classification system.

KEYWORDS: ultrasound diagnostics; intelligent technologies; artificial intelligence; thyroid nodules; TI-RADS; segmentation; classification.

Термин «узловой зоб» является собирательным понятием, подразумевающим наличие узловых образований в щитовидной железе (ЩЖ) разной морфологической структуры и риска злокачественности. Распространенность узлового зоба в йододефицитных регионах увеличивается с возрастом и составляет 30% среди людей старше 30 лет, 50–68% — среди лиц старше 50 лет. В 5–15% случаев диагностированное с помощью методов пальпации или ультразвукового исследования (УЗИ) узловое образование ЩЖ имеет злокачественный потенциал [1, 2].

По данным эпидемиологических исследований, в Российской Федерации в период с 2006 по 2016 гг. отмечался рост заболеваемости раком ЩЖ на 36,5%, за последние 40 лет в США данный показатель вырос втрое. Однако, несмотря на рост заболеваемости, корреляция с уровнем смертности не отмечена [3, 4], что можно объяснить широким распространением в тот период метода ультразвуковой диагностики, позволяющего выявлять узловые образования малых размеров без клинических признаков.

Диагностическую ценность УЗИ в рамках дифференциальной диагностики узлового зоба трудно переоце-

нить. К преимуществам УЗИ можно отнести отсутствие воздействия ионизирующего излучения, мобильность используемого оборудования и относительно низкую стоимость проведения исследования. К недостаткам относят «экспертность» метода, когда его точность зависит от квалификации и опыта специалиста.

Для ограничения субъективности метода, влияющего на результат исследования, разрабатывают интеллектуальные алгоритмы — базовые структуры интеллектуальных систем. Для этого используют подготовленные специалистами экспертного уровня данные, которые должны обеспечивать максимальную точность диагностики.

Важную роль в процессе создания интеллектуальных алгоритмов играет междисциплинарный подход, который основан на эффективном взаимодействии врачей-экспертов, специалистов IT, врачей-кибернетиков, медицинских физиков, инженеров и математиков.

Сбор и хранение медицинских изображений сопряжены с анализом форматов данных разных производителей медицинской техники, таких как GE, Siemens, Samsung, Toshiba, Aloka и др. Каждый ультразвуковой аппарат требует метрологического обеспечения и подготовки

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.



специализированных программ для конвертации экспортируемого формата в целевой для обучения интеллектуальных алгоритмов.

Данные для обучения интеллектуального алгоритма подготавливают при помощи методов сегментации изображений, фундаментальных техник обработки, которые позволяют сконцентрировать внимание разработчика на клинически значимых характеристиках.

Как и в любой научной дисциплине, сообщество, разрабатывающее интеллектуальные алгоритмы, использует языки программирования и терминологию, которая может быть трудна для понимания непрофильным специалистам.

Цель настоящего обзора — подчеркнуть необходимость применения технологий искусственного интеллекта в дифференциальной ультразвуковой диагностике узловых образований ЩЖ, более тесного сотрудничества между специалистами в области разработки интеллектуальных алгоритмов и медицинскими работниками для повышения эффективности методов визуализации, сформулировать перспективную задачу сообществу исследователей, разрабатывающему интеллектуальные компьютерные системы в области применения ультразвука в медицине.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИЙ УЗЛОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Поскольку ни один из отдельно взятых ультразвуковых признаков узловых образований не обладает высокой прогностической ценностью в отношении определения злокачественности, для повышения диагностической точности УЗИ учитывают совокупное влияние признаков.

Более чем через 50 лет после начала широкого применения технологии ультразвуковой визуализации, в 2009 г., впервые была предложена система классификации TIRADS (Thyroid Imaging Reporting and Data System), позволяющая по 6-балльной шкале провести стратификацию

риска злокачественности [5]. В основу положены такие ультразвуковые признаки узловых образований, как форма, эхогенность, границы узла, структура (наличие и соотношение солидного жидкостного компонентов), наличие эхогенных включений — микрокальцинатов [6].

В 2011 г. эта классификация одобрена французским обществом эндокринологов и переработана в более простую в использовании версию, которая была подтверждена в большом проспективном исследовании [7].

Позже были разработаны аналогичные классификации Корейским обществом рентгенологов щитовидной железы (K-TIRADS) [8], Американской тиреоидологической ассоциацией (ATA) [9], Американской ассоциацией клинических эндокринологов, Американским колледжем эндокринологов и Итальянской ассоциацией эндокринологов (AACE/ACE/AME) [10], Американским колледжем радиологов (ACR-TIRADS) [11].

В 2017 г. на основании анализа предложенных классификаций представлена классификация EU-TIRADS (табл. 1). Следует отметить, что именно эта классификация рекомендована к использованию в клинических рекомендациях по высокодифференцированному раку ЩЖ, утвержденных в 2020 г. в Российской Федерации [1].

Необходимо подчеркнуть, что в основу всех вышеупомянутых классификаций положены одни и те же ультразвуковые признаки узловых образований, однако само наличие на сегодняшний день нескольких классификаций свидетельствует об их несовершенстве, отсутствии единого мнения по этому вопросу.

Например, отсутствие узловых образований, т.е. норма, не классифицируется в ACR-TIRADS, когда как в EU-TIRADS соответствует 1-й категории. Доброкачественные узловые образования соответствуют 1-й категории ACR-TIRADS и 2-й категории EU-TIRADS. В ACR-TIRADS отдельно выделяют группу неподозрительных узловых образований и ставят в соответствие с 2-й категорией. Группы низкого,

Таблица 1. Классификация EU-TIRADS
Table 1. EU-TIRADS classification

Категория EU-TIRADS	Описание признаков	Абсолютный риск злокачественности, %	Условное деление
1	Отсутствие узлов в ЩЖ при УЗИ	-	Норма
2	Анэхогенные (жидкостные, коллоидные) образования и так называемые «губчатые» узлы, т.е. анэхогенные с перегородками	Стремится к 0	Доброкачественные узлы
3	Изоэхогенные или гиперэхогенные узлы с ровными контурами овальной формы без признаков малигнизации. Узлы смешанной структуры с преобладанием солидного компонента, без подозрительных признаков	2–4	Низкого риска злокачественности
4	Узлы овальной формы с ровными контурами пониженной эхогенности без подозрительных признаков	6–17	Среднего риска злокачественности
5	Узлы, имеющие хотя бы один из нижеприведенных подозрительных признаков: не овальная форма (неопределенная, преобладание высоты над шириной), неровные контуры, микрокальцинаты, значительное снижение эхогенности (гипоэхогенность)	26–87	Высокого риска злокачественности

Таблица 2. Различия между ACR/EU-TIRADS в классификации узлов
Table 2. ACR/EU-TIRADS differences in terms of classification of nodules

Условное деление	ACR-TIRADS	EU-TIRADS
Нормальная ЩЖ		EU-TIRADS 1
Доброкачественные узлы (кистозные, «губчатые»)	ACR-TIRADS 1	EU-TIRADS 2
Не подозрительные (смешанной структуры, с наличием кистозного и солидного компонента)	ACR-TIRADS 2	-
Низкого риска злокачественности	ACR-TIRADS 3	EU-TIRADS 3
Среднего риска злокачественности	ACR-TIRADS 4	EU-TIRADS 4
Высокого риска злокачественности	ACR-TIRADS 5	EU-TIRADS 5

Таблица 3. Результаты мультицентрового исследования различных систем TIRADS [12]
Table 3. Results of a multicenter study of various TIRADS systems [12]

Классификация	Несколько центров	Один центр			
	Persichetti (2020)	Persichetti (2018)	Grani (2018)	Hoang (2018)	Pang (2019)
AACE/ACE/AME	0,44	0,82	0,73	-	-
ATA	0,34	0,76	0,75	-	0,51
EU-TIRADS	0,39	-	0,68	-	-
ACR	0,42	-	0,61	0,51	-

среднего, высокого риска злокачественности соответствую- т 3, 4 и 5-й категориям ACR-TIRADS и EU-TIRADS (табл. 2).

Был проведен ряд многоцентровых исследований, по результатам которых стало очевидно, что различные системы TIRADS обладают низким уровнем согласия между исследователями [11]. В таблице 3 представлены значения квадратичного взвешенного критерия Каппа Козна, отражающие степень согласия между данными, предоставляемыми разными и одним медицинским цен- тром. При стремлении критерия к единице достигается абсолютное согласие между исследователями в вопросе выбора категории TIRADS.

Представленные данные свидетельствуют о субъектив- ности в восприятии ультразвукового изображения различ- ными исследователями. Согласно ранее проведенным ис- следованиям, самым «слабым звеном» является различие в оценке эхогенности (коэффициент Каппа 0,34) [13].

Для решения проблемы субъективности восприятия сегодня применяют средства искусственного интел- лекта. В последние годы опубликовано более 40 иссле- дований о применении нейронных сетей для анализа

ультразвуковых изображений узловых образований ЩЖ [14]. Ранее подобные средства получили распро- странение в компьютерной и магнитно-резонансной диагностике [15, 16].

ПРИЗНАКИ УЗЛОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Признаками объекта на изображении называют ха- рактеристики визуализируемых объектов, которые име- ют прогностическую ценность для врача-специалиста.

Базовой характеристикой УЗ-изображения является эхогенность — способность тканей отражать ультра- звуковые волны. Именно разница в эхогенности позво- ляет различать границы объектов, делать суждения об отнесении объекта к определенной категории. Про- гностически значимыми признаками злокачественности являются: степень эхогенности, неправильная форма об- разования (преобладание переднезаднего размера над шириной, «taller-than-wide»), неровность контуров и на- личие микрокальцинатов (табл. 4).

Таблица 4. Чувствительность и специфичность ультразвуковых признаков злокачественности узловых образований ЩЖ, % [17]
Table 4. Sensitivity and specificity of ultrasound thyroid nodules malignancy signs, % [17]

Признак	Чувствительность	Специфичность
Микрокальцинаты	39,5	87,8
Гипоэхогенность	62,7	62,3
Солидная структура	72,7	53,2
Неровные контуры	50,5	83,1
Преобладание переднезаднего размера над шириной («taller than wide»)	26,7	96,6

В то время как «губчатая» и преимущественно кистозная структура на изображении имеют большую прогностическую ценность в случае доброкачественности узлового образования [18].

На примере УЗ-изображений узловых образований ЩЖ, полученных в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России, рассмотрим признаки изображений и категории EU-TIRADS. Категории 2 и 5 EU-TIRADS, как правило, не представляют сложности в дифференциальной диагностике (рис. 1, 4). Различия в категориях 3 и 4 не столь очевидны и нередко требуют экспертной оценки. Узловые образования, представленные на рис. 2 и 3, отличаются только степенью снижения эхогенности (категории 3 и 4), что является субъективным признаком, часто зависит как от опыта специалиста, так и от класса оборудования, настроек прибора.

Также более опытные врачи лучше определяют наличие микрокальцинатов, чем их менее опытные коллеги (отношение шансов 14,5 против 5,4) [19, 20].

В отдельную группу признаков УЗ-изображений выделяют текстурные, частотные признаки изображения, расчетные значения матрицы смежности и др. Данная группа признаков недоступна для зрительного восприятия, и поэтому приходится прибегать к средствам компьютерной обработки с извлечением количественной информации.

СРЕДСТВА КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Средства классификации объектов в ультразвуковой диагностике, как и в иной другой области медицинской визуализации, представлены в виде математических алгоритмов, коэффициенты которых определены по тщательно подобранным изображениям врачами-специалистами ультразвуковой диагностики.

Предварительно изображения сегментируют, создают маски, которые описывают область интереса для специалиста ультразвуковой диагностики, для передачи

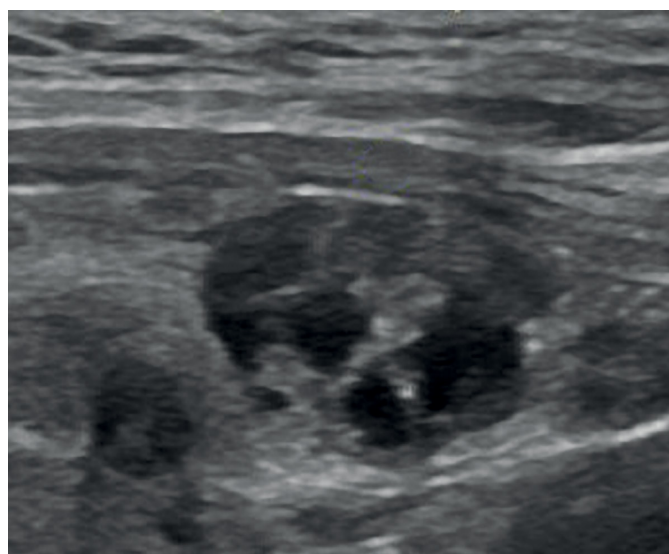


Рис. 1. Анэхогенное образование ЩЖ с перегородками (EU-TIRADS 2).

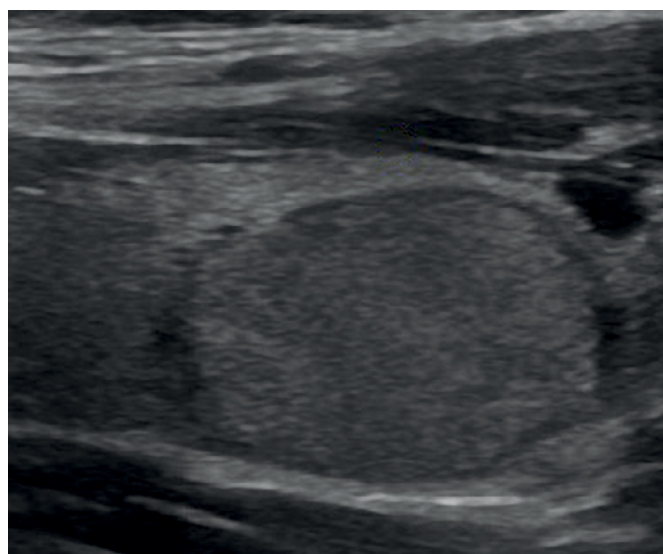


Рис. 2. Изоэхогенное образование ЩЖ с ровными контурами (EU-TIRADS 3).

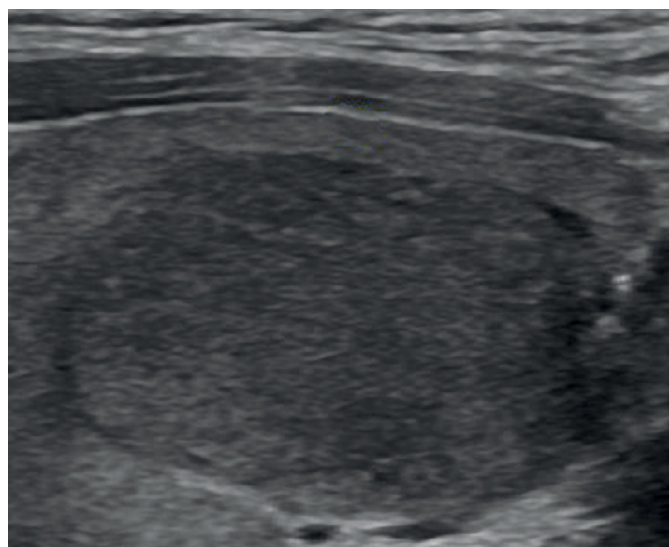


Рис. 3. Образование ЩЖ пониженной эхогенности с ровными контурами (EU-TIRADS 4).

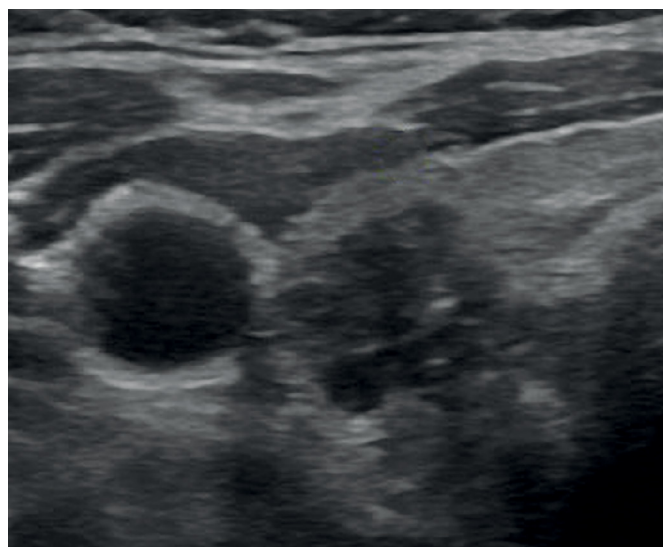


Рис. 4. Гипоэхогенное образование ЩЖ с неровными контурами и микрокальцинатами (EU-TIRADS 5).

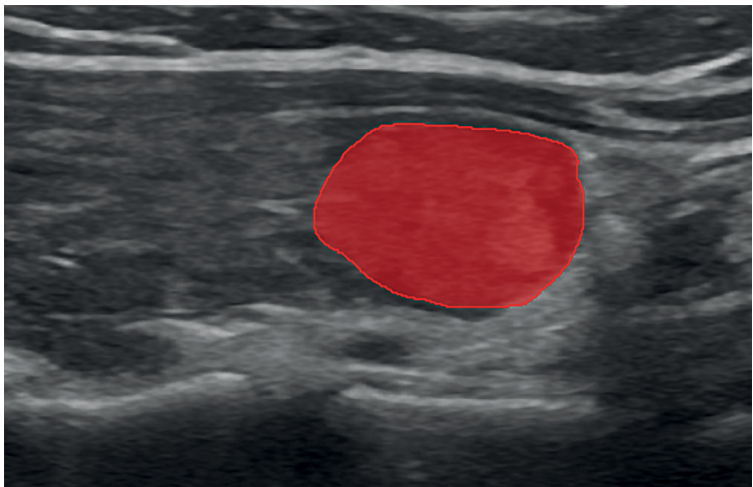


Рис. 5. Маска узлового образования щитовидной железы, категория 5 EU-TIRADS.

программистам. Пример маски узлового образования ЩЖ категории 5 по EU-TIRADS представлен на рис. 5.

Далее специалисты по информационным технологиям решают задачу машинного и глубокого обучения, где огромную роль играют качество исходных данных, их статистические показатели. Актуальным является использование данных с наименьшей дисперсией. Это достигается путем создания обучающей выборки на одинаковых (схожих, одного класса) аппаратах УЗИ, с одинаковыми настройками, разметкой изображений по единым стандартам, специалистами одной медицинской школы. При этом совокупные ошибки, полученные от размытия границ, изменения внешнего вида или интенсивностей узловых образований ЩЖ, других видов

нецелевых затемнений, неровностей значительно влияют на точность решаемых задач.

Важным этапом после получения снимков УЗИ является их предварительная обработка. Возможны изменение размерности исходного признакового описания объектов, усреднение различных интенсивностей по пикселям, наложение фильтров, выделение фрагментов, что влечет увеличение информативности входных данных. Однако эти подходы могут как улучшить, так и ухудшить результаты распознавания интеллектуальными алгоритмами.

Ежегодно для работы с медицинскими изображениями создают новые архитектуры интеллектуальных информационных систем (табл. 5). Однако ввиду специфики

Таблица 5. Развитие архитектур интеллектуальных информационных систем поиска объектов на изображении
Table 5. Development of architectures of intelligent information systems for objects detection in images

№	Год						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020–2021
1	R-CNN	YOLO	R-FCN	YOLOv2	YOLOv3	M2Det	YOLOv4
2	SPP-NET	Fast R-CNN	SSD	Mask R-CNN	FSSD	TridentNet	EfficientDet
3		Faster R-CNN		RetinaNet	ESSD	RetinaMask	DETR
4				FPN	DSOD	GA-RPN	Deformable DETR
5				DSSD	ZSD	ORSIm	Iterdet
6				Light-Head R-CNN	MegDet	3DBN:3D	DetectorRS
7					PeleeNet	Backbone Network	SpineNet
8					RefineDet (RefineNet)	FSAF	RelationNet++
9					CornerNet	OSCD	RepPoints v2
10					Cascade R-CNN	CenterNet	Sparse R-CNN
11					DetNet	ATTS	UniverseNet
12					MDSSD		CenterNet2
13							SWIN Transformat

задачи распознавания изображений для разных типов устройств некоторые исследования показывают, что забытые архитектуры дают порой результаты лучше новых [21].

Как правило, приходится обучать модели «с нуля», что требует большого количества исходных данных, измеряемого в тысячах ультразвуковых изображений. Если использовать «предобученные» модели на открытых данных, то можно столкнуться с проблемой низкой точности классификации TIRADS.

Стоит отметить, что оценка эффективности моделей различными метриками качества часто носит субъективный характер, что усложняет подбор коэффициентов сети.

Одной из главных проблем при решении задачи классификации TIRADS является субъективность мнения исследователя. Это существенно влияет как на интерпретацию целевого признака, так и на обучение в целом. Кроме того, несмотря на большое количество публикаций по теме о сегментации узлов ЩЖ [22–27], крайне редко рассматриваются проблемы множественной сегментации, различия степени снижения экзогенности, сегментации узловых образований с микрокальцинатами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальные технологии классификации объектов на изображении — перспективное направление для развития медицинских дисциплин, смежных с радиологией. Создание подобных технологий требует активного

междисциплинарного взаимодействия, значимых затрат и решения сложных организационных вопросов.

Немалую роль играют качество и количество материала, на основе которого разрабатываются алгоритмы. В мировой практике ведется активный поиск оптимальной классификации узловых образований с целью стратификации риска злокачественности. Автосегментация и классификация новообразований ЩЖ с помощью технологий искусственного интеллекта в перспективе приведут к повышению качества диагностики и уменьшению затрат на обследование и лечение пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией 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.

Источник 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», при подготовке рукописи авторы сохранили независимость мнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Бельцевич Д.Г., Ванушко В.Э., Мельниченко Г.А., Румянцев П.О., Фадеев В.В. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике и лечению (много) узловых зоб у взрослых (2015 год) // *Эндокринная хирургия*. — 2016. — Т. 10. — №1. — С. 5-12. [Bel'tseвич DG, Vanushko VE, Mel'nichenko GA, Rumyantsev PO, Fadeyev VV. Russian Association of Endocrinologists Clinic Guidelines for Thyroid Nodules Diagnostic and Treatment. *Endocrine Surgery*. 2016;10(1):5-12. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.14341/serg201615-12>
2. Guth S, Theune U, Aberle J, et al. Very high prevalence of thyroid nodules detected by high frequency (13 MHz) ultrasound examination. *Eur J Clin Invest*. 2009;39(8):699-706. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.2009.02162.x>
3. *Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность)* / Под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Петровой Г.В. — М.: МНИОИ им. П.А. Герцена; 2021. — 252 с. [*Zlokachestvennyye novoobrazovaniya v Rossii v 2020 godu (zabolevaemost' i smernost')* / Pod red. Kaprina A.D., Starinskogo V.V., Petrovoi G.V. — Moscow: MNIIO im. P.A. Gertsena; 2021. — 252 p. (In Russ.)].
4. Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, et al. 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: What is new and what has changed? *Cancer*. 2017; 123(3):372-381. doi: <https://doi.org/10.1002/cncr.30360>
5. Russ G. Risk stratification of thyroid nodules on ultrasonography with the French TI-RADS: description and reflections. *Ultrasonography*. 2016;35(1):25-38. doi: <https://doi.org/10.14366/usg.15027>
6. Horvath E, Majlis S, Rossi R, et al. An Ultrasonogram reporting system for thyroid nodules stratifying cancer risk for clinical management. *J Clin Endocrinol Metab*. 2009;94(5):1748-1751. doi: <https://doi.org/10.1210/jc.2008-1724>
7. Russ G, Royer B, Bigorgne C, et al. Prospective evaluation of thyroid imaging reporting and data system on 4550 nodules with and without elastography. *Eur J Endocrinol*. 2013;168(5):649-655. doi: <https://doi.org/10.1530/EJE-12-0936>
8. Na DG, Baek JH, Sung JY, et al. Thyroid imaging reporting and data system risk stratification of thyroid nodules: Categorization based on solidity and echogenicity. *Thyroid*. 2016;26(4):562-572. doi: <https://doi.org/10.1089/thy.2015.0460>
9. Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, et al. 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer: The American Thyroid Association Guidelines Task Force on Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. *Thyroid*. 2016;26(1):1-133. doi: <https://doi.org/10.1089/thy.2015.0020>
10. Gharib H, Papini E, Garber JR, et al. American Association of Clinical Endocrinologists, American College of Endocrinology, and Associazione Medici Endocrinologi Medical Guidelines for clinical practice for the diagnosis and management of thyroid nodules — 2016 update appendix. *Endocr Pract*. 2016;22(1):1-60. doi: <https://doi.org/10.4158/EP161208.GL>
11. Tessler FN, Middleton WD, Grant EG. Thyroid Imaging Reporting and Data System (TI-RADS): A User's Guide. *Radiology*. 2018;287(1):29-36. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2017171240>
12. Persichetti A, Di Stasio E, Coccaro C, et al. Inter- and Intraobserver Agreement in the Assessment of Thyroid Nodule Ultrasound Features and Classification Systems: A Blinded Multicenter Study. *Thyroid*. 2020;30(2):237-242. doi: <https://doi.org/10.1089/thy.2019.0360>
13. Choi, S.H.; Kim, E.K.; Kwak, J.Y.; Kim, M.J.; Son, E.J. Interobserver and intraobserver variations in ultrasound assessment of thyroid nodules. *Thyroid* 2010, 20, 167–172.
14. Eoin F. Cleere, Matthew G. Davey, Shane O'Neil, Mel Corbett, John P O'Donnell, Sean Hacking Ivan J. Keogh, Aoife J. Lowery, Michael J. Kerin. Radiomic Detection of Malignancy within Thyroid Nodules Using Ultrasonography—A Systematic Review and Meta-Analysis *Diagnostics* 2022 Mar 24;12(4):794
15. Havaei M, Davy A, Warde-Farley D, et al. Brain tumor segmentation with Deep Neural Networks. *Med Image Anal*. 2017;35:18-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.05.004>
16. Cheng C-H, Liu W-X. Identifying Degenerative Brain Disease Using Rough Set Classifier Based on Wavelet Packet Method. *J Clin Med*. 2018;7(6):124. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm7060124>

17. Hrčić F, Štajduhar I, Tschauer S, et al. Local-Entropy Based Approach for X-Ray Image Segmentation and Fracture Detection. *Entropy*. 2019;21(4):338. doi: <https://doi.org/10.3390/e21040338>
18. Remonti LR, Kramer CK, Leitão CB, et al. Thyroid Ultrasound Features and Risk of Carcinoma: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Thyroid*. 2015;25(5):538-550. doi: <https://doi.org/10.1089/thy.2014.0353>
19. Virmani V, Hammond I. Sonographic Patterns of Benign Thyroid Nodules: Verification at Our Institution. *Am J Roentgenol*. 2011;196(4):891-895. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.10.5363>
20. Brito JP, Gionfriddo MR, Al Nofal A, et al. The Accuracy of Thyroid Nodule Ultrasound to Predict Thyroid Cancer: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014;99(4):1253-1263. doi: <https://doi.org/10.1210/jc.2013-2928>
21. Nguyen DT, Kang JK, Pham TD, et al. Ultrasound Image-Based Diagnosis of Malignant Thyroid Nodule Using Artificial Intelligence. *Sensors*. 2020;20(7):1822. doi: <https://doi.org/10.3390/s20071822>
22. Varga B, Farkas J, Malis A, et al. RFC 9037. *Deterministic Networking (DetNet) Data Plane: MPLS over IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN)* [Internet]. 2021. Available from: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc9037>
23. Роннебергер О., Фишер Ф., Брокс Т. U-Net: сверточные сети для сегментации биомедицинских изображений. 2015. Доступно по: https://github.com/qubvel/segmentation_models.pytorch#examples [Ronneberger O, Fisher F, Broks T. U-Net: svertochnye seti dlja segmentacii biomedicinskih izobrazhenij. 2015 Available from: https://github.com/qubvel/segmentation_models.pytorch#examples. (In Russ.)].
24. Zhou Z, Siddiquee MR, Tajbakhsh N, Liang J. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation. Arizona State University. 2018. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1807.10165.pdf>
25. 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;3(4):e250-e259. doi: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00041-8)
26. Fan T, Wang G, Li Y, Wang H. MA-Net: A Multi-Scale Attention Network for Liver and Tumor Segmentation. *IEEE Access*. 2020;8(4):179656-179665. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025372>
27. Chaurasia A, Culurciello E. LinkNet: Exploiting Encoder Representations for Efficient Semantic Segmentation, 2017. Available from: <https://arxiv.org/abs/1707.03718>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

***Трухин Алексей Андреевич [Alexey A. Trukhin];** адрес: 117036 Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11, к. 2 [address: 11 bld 2, Dm. Ulyanova street, 117036 Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5592-4727>; eLibrary SPIN: 4398-9536; e-mail: alexey.trukhin12@gmail.com

Захарова Светлана Михайловна, к.м.н. [Svetlana M. Zakharova, MD, PhD]; eLibrary SPIN-код: 9441-4035; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6059-2827>; e-mail: smzakharova@mail.ru

Дунаев Максим Евгеньевич [Maxim E. Dunaev]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6059-2827>; e-mail: max.dunaev@mail.ru

Исаева Мария Петровна [Maria P. Isaeva, MD]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9963-6783>; eLibrary SPIN: 6205-5170; e-mail: impdoctorx@gmail.com

Гармаш Александр Александрович [Alexandr A. Garmash]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1129-7220>; e-mail: AAGarmash@mephi.ru

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

ИНФОРМАЦИЯ

Рукопись получена: 22.08.2022. Рукопись одобрена: 03.10.2022

Received: 22.08.2022. Accepted: 03.10.2022

ЦИТИРОВАТЬ:

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. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12730>

TO CITE THIS ARTICLE:

Trukhin AA, Zakharova SM, Dunaev ME, Isaeva MP, Garmash AA, Troshina EA. The role of artificial intelligence in the differential thyroid nodules ultrasound diagnostics. *Clinical and experimental thyroidology*. 2022;18(2):32-38. doi: <https://doi.org/10.14341/ket12730>