

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-4-21-45>

Цифровая трансформация ультразвуковой диагностики

Оригинальное исследование

Г.С. Лебедев^{1,2}, И.А. Шадеркин¹, А.И. Шадеркина³

¹ Институт цифровой медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); д. 1, стр. 2, Абрикосовский пер., Москва, 119435, Россия

² ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России; д. 11, ул. Добролюбова, Москва, 127254, Россия.

³ Институт клинической медицины направление «Персонализированная медицина» Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовского университета); д. 8, стр. 2, ул. Трубецкая, Москва, 119048, Россия

Контакт: Шадеркина Анастасия Игоревна, nastyashade01@yandex.ru

Аннотация:

Введение. Ультразвук – один из наиболее часто применяемых методов диагностики в медицине, поскольку является высоко доступным и неинвазивным диагностическим инструментом. В сравнении с экономически развитыми странами в России доля ультразвуковых исследований в 2 раза выше. В связи с большой нагрузкой на ультразвуковую диагностику и значительным ее вкладом в постановку диагноза необходимо повышение эффективности проведения ультразвуковых исследований и оптимизации работы с данными. В данной статье рассмотрены примеры влияния цифровых технологий на трансформацию ультразвуковой диагностики.

Материалы и методы. Обзор литературы проводился на основе базы данных Pubmed и открытых интернет-источников.

Результаты. На основе проведенного обзора литературы мы можем разделить применение телеультразвука на несколько направлений: в удаленных населенных пунктах с ограниченной медицинской помощью; в экстренной помощи; в условиях ограничения по времени и доступу к медицинской помощи, в том числе в космосе; в акушерстве; для домашнего использования пациентами и для обучения специалистов. Общепринятый двухэтапный процесс проведения ультразвукового исследования (УЗИ) может быть разделен на отдельные этапы с новыми технологическими решениями и новыми участниками, включая не только людей, но и решения на базе искусственного интеллекта: сбор информации, ее сохранение, передача и анализ, облачное хранение и возможность доступа пациента к данным в любое время.

Заключение. УЗИ является активно развивающейся областью инструментальной диагностики, и на данном этапе ее развития имеются все инструменты для проведения цифровой трансформации. Появление портативных и ручных УЗ-датчиков, разработка стандартизированных протоколов и внедрение POCUS в рутинную клиническую практику, использование роботов УЗИ позволяет уйти от таких недостатков ультразвука, как его оператор-зависимость и значительная субъективность исследования. Создание систем передачи и баз для хранения визуальных данных ведет к расширению возможностей работы с данными УЗИ, включая создание датасетов, передачу данных для анализа другими врачами-специалистами и развитию нового направления – телеультразвука, что расширяет доступность медицины в ресурсно-ограниченных областях.

Ключевые слова: ультразвук; point-of-care ultrasound (POCUS); телеультразвук; искусственный интеллект; цифровая трансформация.

Для цитирования: Лебедев Г.С. Шадеркин, И.А., Шадеркина А.И. Цифровая трансформация ультразвуковой диагностики. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2022;8(4):21-45; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-4-21-45>

Digital transformation of ultrasound diagnostics

Original study

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-4-21-45>

G.S. Lebedev^{1,2}, I.A. Shaderkin¹, A.I. Shaderkina³

¹ Department of Information and Internet Technologies at Sechenov University, 1, building 2, Abrikosovsky per., Moscow, 119435, Russia

² Department of Innovative Development and Scientific Design of the Central Research Institute of Organization and Informatization of Health Care of the Ministry of Health of the Russian Federation, 11, st. Dobrolyubova, Moscow, 127254, Russia.

³ Institute of Clinical Medicine of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), 8, building 2, st. Trubetskaya, Moscow, 119048, Russia

Contact: Anastasia I. Shaderkina, nastyashade01@yandex.ru

Introduction. Ultrasound (US) is one of the most applied diagnostic methods in the medicine due to its accessibility and non-invasiveness. Twice more ultrasound examinations are conducted in Russia than in economically developed countries. It is necessary to increase the efficiency of ultrasound and optimization of data management because of its significant impact on diagnostics and high load on the US method. In this paper we provide the ways digital technologies have influence on the ultrasound.

Materials and methods. The search was conducted via Pubmed database and the Internet open sources.

Results. Based on the conducted research, we can separate apply of tele-ultrasound into several directions: using in the remote and resource-limited towns and areas; in the emergency care; in the situations with limited time or access to the medical care, for instance, in space; in obstetrics; for home monitoring by patients or their relatives; and for medical staff training. Routine two-steps algorithm of ultrasound examination can be divided to discrete stages with new technological solutions and participants, including artificial intelligence: data obtaining, saving, transfer and analysis, cloud storage and patient's access to it at any time.

Conclusion. Ultrasound is an actively developing sphere of instrumental diagnostics and on the current stage there are enough instruments for its digital transformation. The appearance of portable and handheld US devices, development of standardized protocols and POCUS implementation in routine clinical practice, and use of ultrasound robots allows to minimize such disadvantages of US as its operator-dependance and subjectivity of examinations. The development of systems for data transfer and storage leads to broadening of ultrasound data management possibilities, for example, datasets creation, data sharing with other specialists and tele ultrasound implementation which widens access to medicine in resource-limited areas.

Key words: ultrasound; point-of-care ultrasound (POCUS); tele-ultrasound; artificial intelligence; digital transformation.

For citation: Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Shaderkina A.I. Digital transformation of ultrasound diagnostics. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2022;8(3):21-45; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-4-21-45>

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвук является одним из наиболее часто применяемых методов диагностики в медицине, поскольку обладает высокой доступностью, неинвазивностью и низкой стоимостью.

По отчету главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике Тюрина И.Е., в 2020 году было выполнено более 326 млн. лучевых исследований, при этом в структуре данных исследований преобладает ультразвуковое исследование – 43% [1]. Всего в 2020 году было проведено 151693220 диагностических и профилактических ультразвуковых исследований.

FDA (Food and Drug Administration) в рамках «Инициативы по снижению ненужного радиационного излучения от медицинских приборов» рекомендует применение УЗИ для диагностики заболеваний [2].

В сравнении с экономически развитыми странами в России доля ультразвуковых исследований в 2 раза выше [1]. В связи с большой нагрузкой на ультразвуковую диагностику и значительным ее вкладом в постановку диагноза необходимо повышение эффективности проведения ультразвуковых исследований и оптимизации работы с данными.

В данной статье приведен обзор того, как цифровые технологии трансформируют ультразвуковую диагностику.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обзор литературы проводился на основе базы данных Pubmed и открытых интернет-источников. В анализ были включены данные за последние 5 лет. Запросы включали в себя такие формулировки, как:

«artificial intelligence in ultrasound» – 18205 результатов;

«fusion technologies» – 15454 результата;

«digital ultrasound» – 10997 результатов;

«remote ultrasound» – 1960 результатов;

«POCUS» – 1661 результат;

«DICOM and ultrasound» – 543 результата;

«wearable ultrasound» – 441 результат;

«tele ultrasound» – 158 результатов.

Несомненно, что цифровые технологии являются сквозными технологиями и проходят через все аспекты медицинского оборудования, включая ультразвук. В связи с этим, разбирая данный вопрос, мы исключили из обзора цифровые технологии, связанные в целом с развитием оборудования, повышением его качества, появлением дополнительных возможностей. В данной работе в первую очередь был сделан акцент на таких направлениях, как телемедицина, робототехника, работа с большими данными, искусственный интеллект (ИИ).

Основная часть

Проведенный анализ выявил, что с точки зрения оценки технологий по запросам нам чаще

выявлялись такие технологии, как POCUS и теле-УЗИ, поэтому мы считаем необходимым дать определение эти двум понятиям.

В настоящее время во врачебной практике все чаще применяется POCUS или Point-of-care Ultrasound, представляющий собой выполнение ультразвукового исследования врачом у постели пациента с последующей интерпретацией результатов [3]. Многие авторы называют POCUS «новым стетоскопом», поскольку уменьшение размеров новых аппаратов УЗИ делают возможным проведение данного вида исследования вне кабинета врача ультразвуковой диагностики [4,5].

Другим важным термином, используемым авторами статей, является teleultrasound или телеультразвук (телеУЗИ) – УЗИ, проводимое с передачей данных для анализа специалистом, находящимся на любом расстоянии от места сбора данных. Телеультразвук может быть как синхронным, то есть с параллельным удаленным анализом получаемых данных, либо асинхронным, в таких случаях интерпретация визуальных данных может быть проведена в любое время от момента их сбора [6].

I. Способы сбора информации

Диагностика заболеваний с помощью ультразвукового исследования в структуре всех диагностических методов занимает одно из первых мест по частоте применения. В настоящее время вся данная область применения ультразвука находится в компетенции врача ультразвуковой диагностики и неоспоримо, что именно данный специалист занимается сбором и анализом информации, получаемой во время исследования. В данном обзоре нашей целью является рассмотрение новых возможностей в УЗИ, в том числе его применение другими участниками диагностического и лечебного процесса – врачами других специальностей (например, лечащим врачом), средним медицинским персоналом и даже пациентами. Поскольку этап сбора информации с помощью ультразвукового датчика врачом ультразвуковой диагностики является рутинным, мы не рассматриваем его как отдельный раздел данной статьи.

Сбор информации не специалистами ультразвуковой диагностики

Сделать сбор данных независимым от кабинета врача позволяет использование портатив-

ных или ручных (handheld) УЗИ датчиков [7,8]. Наиболее широкое применение такие датчики получили в экстренной медицине, поскольку небольшие размеры и масса устройства, в некоторых случаях использование беспроводной передачи визуальной информации на смартфон, низкая стоимость относительно стандартных аппаратов УЗИ упрощают их использование в экстренных ситуациях, включая природные и техногенные катастрофы.

Сбор данных ручным датчиком может осуществляться в местах, где ограничен доступ к инвазивной медицинской помощи. Помимо удаленных населенных пунктов, такими местами становятся круизные корабли, где невозможно осуществление экстренных хирургических вмешательств. В работе Boniface K.S. представлен клинический случай применения ручного УЗ-датчика на круизном корабле. Пациентка 25-ти лет, с жалобами на абдоминальные боли, была исследована корабельным врачом с телеконсультацией врача-специалиста. С помощью УЗИ была диагностирована эктопическая беременность, а также наличие свободной интраперитонеальной жидкости в правом верхнем квадранте живота. Пациентка была экстренно транспортирована на вертолете в ближайшее медицинское учреждение на берегу. С момента ее поступления к корабельному врачу и начала эвакуации прошло два часа. Пациентке была успешно проведена лапароскопическая сальпингэктомия [9]. Данный случай показывает возможности успешного применения телеультразвука в ситуациях, где в условиях ограниченной диагностики и изоляции от основных транспортных путей необходимо осуществление срочной медицинской помощи, и, следовательно, принятие быстрого решения о транспортировке пациента в медицинское учреждение.

В некоторых случаях УЗИ требуется в местах, где нет врачей-специалистов. Например, для космонавтов, длительно пребывающих на космической станции, необходим контроль мышечной массы, осуществляемый самостоятельно и с помощью УЗ-датчика. Стандартное обследование мышечной массы проводится до и после полета, однако высокий процент потери мышечной массы, до 20%, требует продолжительного мониторинга в течение всего полета для улучшения показателей здоровья и снижения ►►

длительности реабилитации космонавтов на Земле. В исследование Scott J.M. и соавт. был применен телеультразвук для мониторинга мышечной массы космонавтов в течение полета. Оценка мышечной массы обычно осуществляется с помощью ультразвукового исследования прямой мышцы бедра и мышц голени в нескольких их отделах, и для более точного определения пути движения датчика были созданы «гайды» – гибкие пластины, прикрепляемые на бедро и голень и ограничивающие место постановки и движения датчика, а также были улучшены протоколы самостоятельного проведения исследования. Каждое УЗИ проходило под контролем двусторонней аудиовидеосвязи. В исследовании приняли участие 11 космонавтов, которым до и после полета были выполнены УЗИ и МРТ врачами-специалистами. Среднее время полета составило 168 ± 57 дней, в ходе которых было выполнено 74 телеультразвуковых исследо-

вания и получено 492 изображения. Результаты исследования показали отсутствие значимых различий между самостоятельным исследованием, проведенным за 7 дней до приземления, и исследования экспертом после полета [10].

Другим применением телеУЗИ на международной космической станции является использование моторизированного УЗИ-датчика, управляемого удаленно врачом-специалистом на Земле [11]. Автоматизация сбора информации позволяет минимизировать возможные ошибки со стороны космонавта, не имеющего опыта работы с ультразвуковыми диагностическими аппаратами. Таким образом, космонавт только держит датчик в выбранной области, а все остальные процессы исследования проводятся удаленно врачом ультразвуковой диагностики, находящимся на Земле.

Систематический обзор применения портативного ультразвука для космонавтов в диагностике заболеваний дыхательной системы также

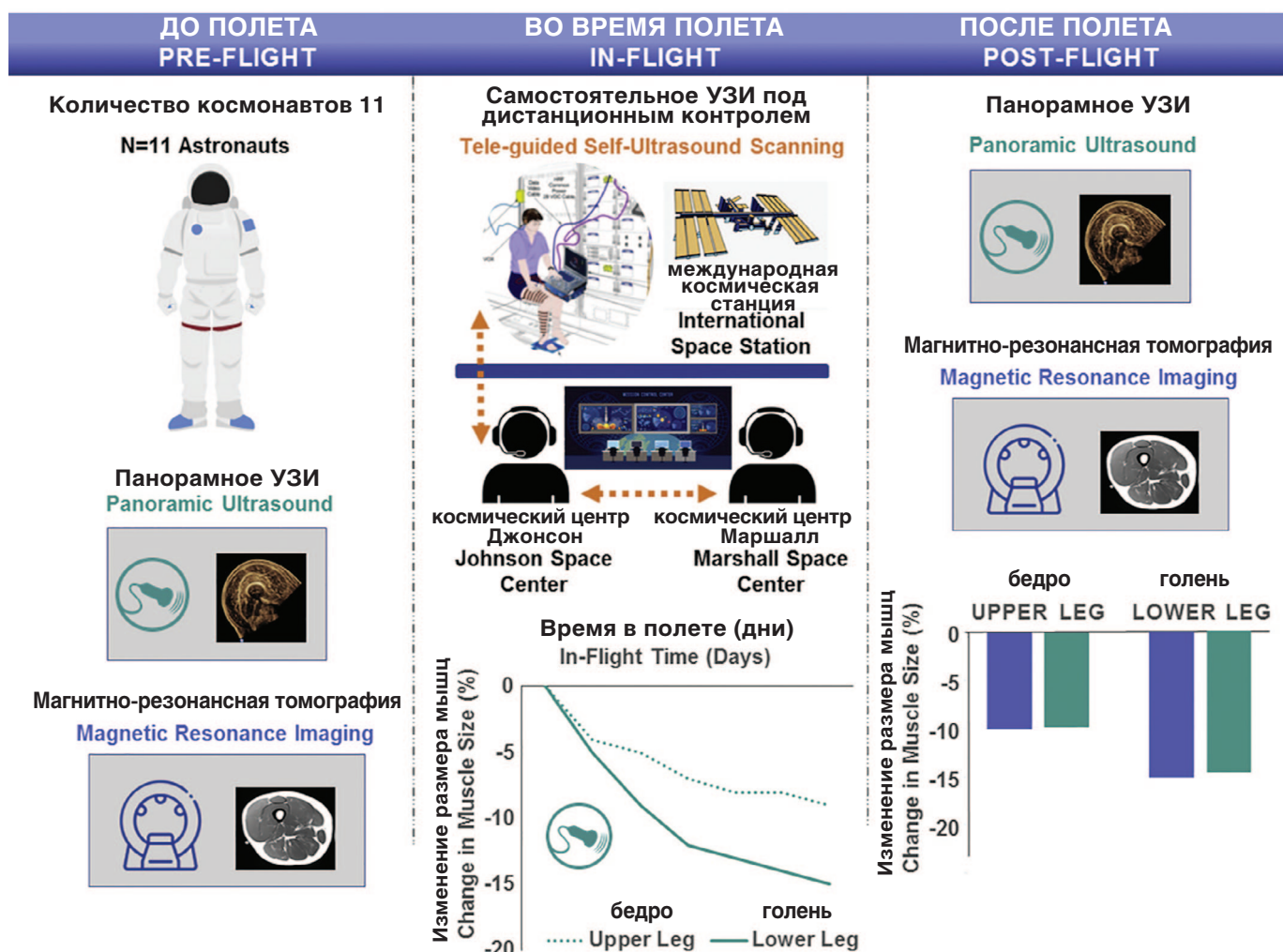


Рис. 1. Проведение телеультразвука для длительного мониторинга мышечной массы в течение полета в космосе [10]
 Fig. 1. Carrying out teleultrasound for long-term monitoring of muscle mass during space flight [10]

показывает потенциал применения, поскольку позволяет выявить угрожающие для жизни состояния и быстро определить дальнейшую тактику ведения пациента [12]. Более ранние исследования также показывают широкие возможности применения телеультразвука на международной космической станции для диагностики заболеваний различных систем органов, включая опорно-двигательную систему и диагностику изменений позвоночника в условиях невесомости [13].

УЗИ является наиболее доступным для транспортировки методом среди всех видов инструментальной диагностики, поэтому доставка портативных УЗИ-приборов возможна с помощью дронов [14]. Далее пациент, получивший прибор, выполняет телеультразвуковое исследование под контролем врачей-специалистов. Такой способ доставки в сочетании с технологиями телеультразвука позволяет говорить о применении данного диагностического метода в любых местах, вне зависимости от их удаленности от медицинских учреждений.

Инфекционные заболевания также требуют максимальной изоляции пациента от медицинского персонала. Kirkpatrick A.W. и соавт. было предложено самостоятельное применение УЗИ легких для диагностики COVID-19. В исследование были включены 27 участников, которые выполняли УЗИ дома, под видео и аудио контролем со стороны специалиста. В ходе исследования были получены 648 изображений 8-ми передних и латеральных областей легких, 99,8% из которых три независимых эксперта оценили как имеющие достаточное качество для интерпретации. Однако другие точки для анализа задней области легких были оценены участниками как неудобные для самостоятельного исследования УЗ-датчиком, и полностью просканировать все точки на спине удалось только в 66% случаев [15].

Эхо-КГ может быть проведено и младшим медицинским персоналом, например медсестрами, с последующим анализом врачом-специалистом. Данные передавались для последующей интерпретации врачом-кардиологом в другом медицинском учреждении. В 94% выполненных исследований качество было достаточным для определения размеров камер сердца и его функций. Данное исследование так же показы-

вает возможности телеультразвука и его перспективы для улучшения доступности медицинской помощи [16].

Систематический обзор Britton N. и соавт. показал потенциал применения телеультразвука и его положительное влияние на качество диагностики в ресурсно-ограниченных условиях. Авторы пришли к выводу, что все характеристики телеУЗИ являются удовлетворительными для его применения в диагностике заболеваний и ведении пациентов [17].

Примером применения телемедицинских технологий является исследование, проведенное Marini T.J. и соавт [18]. Авторы протестировали возможности использования определенного алгоритма сканирования области интереса, в данном случае правого верхнего квадранта живота, УЗИ-датчиком человеком, не имеющим опыта в ультразвуковой диагностике. Далее записанные данные передавались на планшет и с помощью специального приложения, установленного на него, отправлялись для анализа врачу. В ходе работы было просканировано 144 объекта, при этом «приемлемое» и «отличное» качество имели 38,9% и 24,3% видео соответственно. Для холелитиаза были определены чувствительность и специфичность методики, которые составили 93,3% и 97,0% соответственно. Аналогичное по дизайну исследование было проведено этими же авторами для оценки применения возможностей телемедицины и УЗИ для диагностики заболеваний щитовидной железы [19]. В данном случае участниками без опыта выполнения УЗИ был просканирован 121 пациент с использованием протокола для щитовидной железы. 88% полученных видеоисследований имели «отличное» качество, достаточное для полной визуализации органа и постановки диагноза. Соглашение о наличии узлов при оценке стандартным методом и методом дистанционной диагностики составило 98,3%, при этом не было значительной разницы между определением размера узлов обоими методами.

В другом исследовании был применен робот-УЗИ, дистанционно управляемый врачом ультразвуковой диагностики [20]. Было проведено 33 УЗ-исследования, одно было исключено в связи с наличием значительного количества газов в кишечнике пациента, затруднявших анализ получаемого изображения. В остальных ►

32 случаях было проведено исследование печени, желчного пузыря, поджелудочной железы, селезенки, почек, оценка наличия плеврального выпота и жидкости в брюшной полости. В 26 случаях дистанционный диагноз был поставлен правильно, а качество изображений во всех проведенных УЗИ было оценено двумя экспертом на 4,73 балла из 5, что представляет высокое качество данных.

Телеультразвук также может использоваться для диагностики врожденных пороков сердца для принятия решения об экстренной транспортировке в центры высококвалифицированной медицинской помощи. В данной работе было проведено 192 теле-ЭХО-КГ у 100 младенцев, с последующей асинхронной, то есть не в режиме реального времени, интерпретацией данных и диагностикой педиатрами-кардиоло-

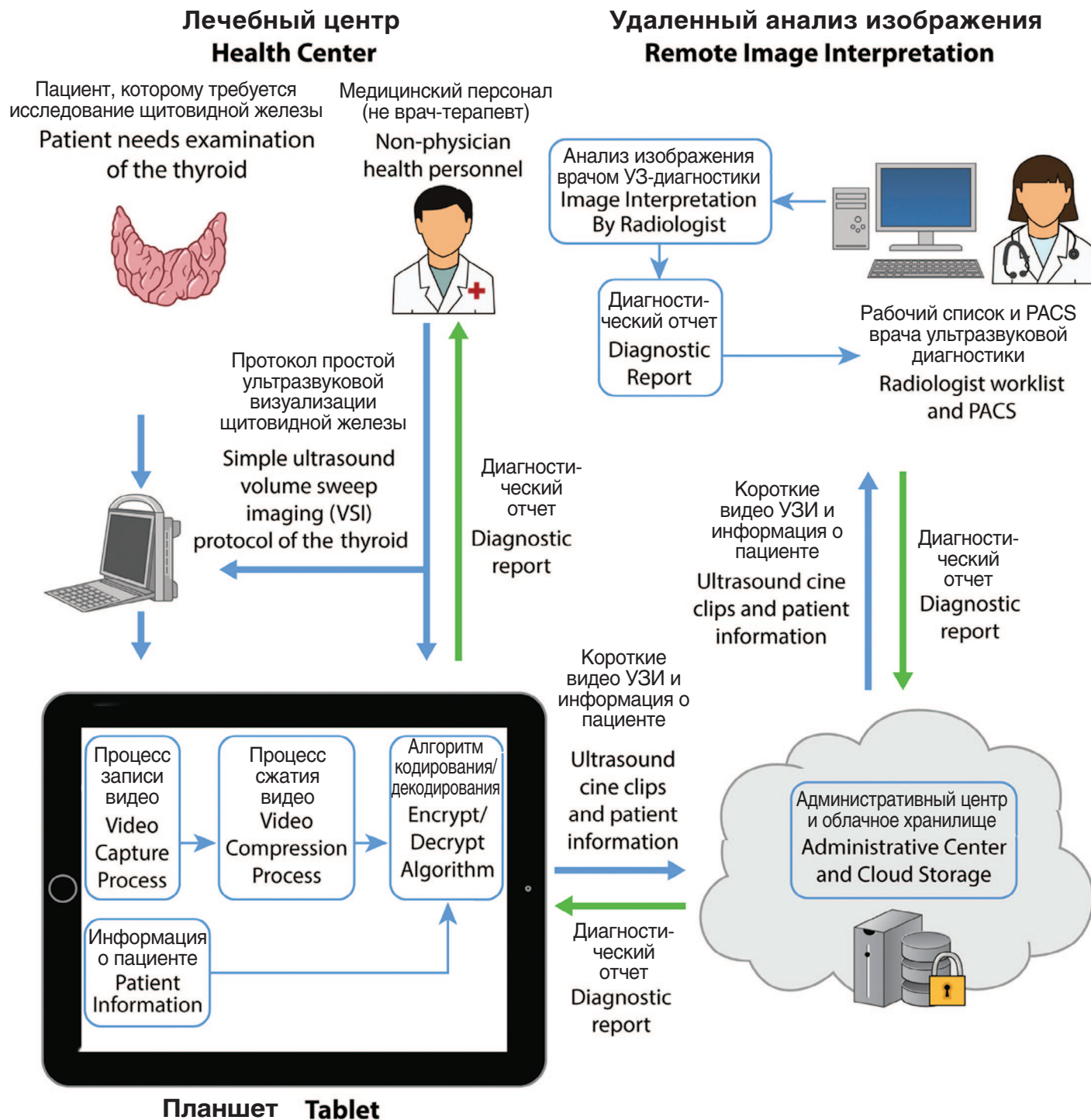


Рис. 2. Пример системы телеультразвука [18]
Fig. 2. An example of a tele-ultrasound system [18]

гами. По результатам 17 пациентов были эвакуированы в центры оказания высокотехнологичной помощи. Данная работа показала возможности телеУЗИ для определения наиболее эффективной тактики ведения тяжелобольных пациентов [21].

В статье Morel В. и соавт. представлен опыт применения 3D виртуального абдоминального телеультразвука в неотложной педиатрической помощи в сравнении со стандартным ультразвуковым исследованием. В данном проспективном исследовании приняли участие 103 педиатрических пациента с симптомами абдоминальной боли, с исключением случаев травматологической этиологии боли. Каждое телеУЗИ было дважды оценено двумя врачами лучевой диагностики, экспертом и резидентом. Качество полученных изображений было оценено как хорошее и отличное в 84% и 70% случаев соответственно. Чувствительность диагностики эксперта и резидента составили 86% и 84% соответственно, специфичность – 95% и 92%, положительная прогностическая ценность составила 92% и 86% в сравнении заключений стандартного УЗИ и телеультразвука. Внутрикласовые коэффициенты корреляции для стандартного УЗИ и телеУЗИ составили 0,99. Таким образом, авторы считают, что абдоминальное телеУЗИ перспективно для применения в педиатрической неотложной помощи [22].

Носимые устройства

В ряде заболеваний необходим постоянный мониторинг функциональных и анатомических особенностей органов. Например, у пациентов с энурезом необходим контроль наполнения мочевого пузыря, и в таком случае возможно использование носимых УЗ-датчиков, прикрепляемых в области мочевого пузыря и отслеживающих изменения его объема [23–28]. При наполнении мочевого пузыря срабатывает сигнал для ребенка или для родителя, зачастую в виде будильника, который сообщает о необходимости мочеиспускания.

Chen А. и соавт. предложили применение беспроводного ультразвукового сенсора для продолжительного мониторинга дыхания. Устройство передает данные на смартфон, полученные в ходе каждого исследования, такие как скорость воздушного потока, что позволяет проводить оценку функций внешнего дыхания [29].

Кроме узких специализаций, носимый ультразвуковой датчик может быть использован для оценки почти всех органов и систем органов, поскольку, как и стандартный медицинский аппарат УЗИ, один датчик может визуализировать любой орган в пределах его поля зрения. Wang С. и соавт. в данных целях использовали тонкий биоадгезивный датчик, который может крепиться на любую часть тела с помощью контактной пленки, созданной из биоадгезивного гибрида гидрогеля и эластомера [30].

Ультразвуковые датчики также используются для оценки функций сердца, и для пациентов с патологиями сердечно-сосудистой системы актуален длительный мониторинг для своевременной диагностики острых осложнений. Ни Н. и соавт. разработали носимый датчик для ультразвукового мониторинга функций сердечной мышцы, в частности левого желудочка, в режиме реального времени. Помимо этого, авторы разработали модель на базе глубокого машинного обучения, способную вычислять объем левого желудочка. На основе данных этой модели возможно дальнейшее вычисление фракции выброса [31].

Роботизация сбора информации

Данную часть мы наиболее полно раскрыли в нашей предыдущей статье [32]. Применение роботов в УЗИ является перспективным и активно развивающимся направлением. В настоящее время существуют как работающие прототипы, не получившие регистрационного удостоверения, так и полноценные роботы, уже применяющиеся в клинической практике. Важно отметить, что управление таким роботом может производиться удаленно, врачом-специалистом из любой точки мира, либо с помощью вложенной программы, при этом степень автономности робота может быть различной. Например, УЗИ робот может самостоятельно определять свое положение в пространстве и находить область интереса с помощью различных вспомогательных алгоритмов, включая ИИ. В других разработках необходимо присутствие ассистента, который подводит робота к области интереса и следит за правильностью выполнения исследования. Проведение УЗИ без участия врача-специалиста является ключевым в решении проблемы дефицита специалистов, поскольку дает ►►

возможность анализа данных в любое время и четко разделяет процесс сбора и процесс анализа данных.

Помимо проведения УЗИ напрямую человек-человек, возможно использование роботов с дистанционным управлением. Teng Li и соавт. была разработана система управления роботом, которая может переключаться с режима человек-робот на теле управление, т.е. дистанционное [33].

II. Способы доставки информации

Одним из наиболее распространенных способов доставки данных врачу при применении телеультразвука является связь с помощью интернета или мобильной сети с участниками исследования в режиме реального времени. Данный метод получил распространение когда доступ к привычным инструментам диагностики ограничен, однако требуется быстрая постановка диагноза. В работе Blenkinsop G. и соавт. была применена система Butterfly iQ+, с помощью которой по смартфону осуществлялась связь с врачом, при этом УЗ-датчик подключается к телефону, что позволяет специалисту удаленно контролировать и направлять движения датчика [34, 35].

В некоторых случаях возможна передача информации с помощью открытых платформ, таких

как социальные сети и мессенджеры. В работе Rigamonti L. и соавт. WhatsApp (WhatsApp Inc., Mountain View, CA, USA) мессенджер был использован для передачи информации при обучении врачей и медсестер проведению УЗИ бедренных артерий для оценки толщины комплекса интимомедиа и диаметра сосудов. Результаты исследования показали достаточное качество видеоданных УЗИ, передаваемых через мессенджер, для успешного обучения медицинского персонала [36].

Кроме анализа в режиме реального времени, возможен отсроченный анализ изображений, который требует сохранения данных. Подобный метод анализа представлен в статьях, описанных в разделе «Способы сбора информации» [15, 16, 18, 19]. В таких случаях данные загружаются на сервер, где далее становятся доступными для оценки специалистом.

III. Способы анализа информации

III.1. Анализ человеком

1. Анализ врачом-специалистом ультразвуковой диагностики

Ультразвуковое исследование в рутинной практике полностью выполняется врачом ультразвуковой диагностики, который проводит анализ в настоящем времени и формирует заключение. Применение телеУЗИ позволяет проводить ана-



Рис. 3. Система проведения синхронного телеультразвука [34]
Fig. 3. System for conducting synchronous teleultrasound [34]

лиз УЗИ данных отдельно от их сбора врачом-специалистом, находящимся в любой точке. Данный способ в настоящее время получил наибольшее распространение, поскольку он перераспределяет потоки пациентов и повышает доступность качественной медицинской помощи для пациентов, не имеющих возможности очного посещения специалиста [37, 38].

2. Оценка с помощью стандартизированных протоколов

В современную медицинскую практику постепенно внедряются элементы стандартизации выполнения различных диагностических исследований, например, протоколы, и данная тенденция характерна и для ультразвука. Стандартизация выполнения инструментальных исследований может служить переходным этапом перед внедрением искусственного интеллекта в клиническую практику, поэтому мы видим необходимым рассмотрение данного раздела в рамках нашей статьи. Кроме того, протоколы позволяют проводить исследования врачами любых специальностей, обученных выполнению УЗИ и его интерпретации в рамках данных алгоритмов.

Одним из наиболее применяемых протоколов стал FAST-протокол или протокол сфокусированной ультразвуковой оценки при травмах (Focused Assessment with Sonography for Trauma). Данный протокол направлен на быстрое и систематизированное обследование областей грудной и брюшной полости для исключения или диагностики острых жизнеугрожающих состояний (например, шок). Протокол состоит из последовательной оценки полостей, в которых может скапливаться жидкость: перикард, правый верхний квадрант живота, левый верхний квадрант и малый таз [39]. Его вариацией является E-FAST-протокол (расширенный FAST-протокол), включающий в себя оценку передней и боковой плевральной полости [40]. Метаанализ Netherton S. и соавт. показал, что чувствительность и специфичность eFAST-протокола для диагностики пневмоторакса составляет 69% и 99% соответственно, для перикардального выпота 91% и 94%, для интраабдоминальной свободной жидкости – 74% и 98% [41].

Для оценки функций сердца может быть использован протокол сфокусированной трансторакальной эхокардиографии (focus-assessed transthoracic echocardiography (FATE)). Данный

алгоритм показал эффективность для быстрой диагностики клинически значимых патологий, например, выраженной дилатации правого желудочка и снижения его систолической функции [42,43].

Патологии дыхательной системы, такие как острый респираторный дистресс-синдром, требуют максимально возможного уменьшения времени между поступлением пациента и началом терапии, поэтому УЗИ, как наиболее доступный диагностический метод, может быть использован в таких случаях. В метаанализе Asmara O.D. и соавт. было проведено сравнение применения протокола BLUE (Bedside lung ultrasound examination – ультразвуковое исследование легких у кровати пациента) с золотыми стандартами диагностики заболеваний легких. Результаты показали, что BLUE протокол имеет достаточные чувствительность и специфичность для диагностики пневмонии (84% и 98% соответственно) и отека легких – чувствительность и специфичность 89% и 94% соответственно. Таким образом, метаанализ показал возможность внедрения BLUE протокола как инструмента для диагностики причин острого респираторного дистресс-синдрома в рутинной клинической практике [44]. Помимо стандартного BLUE протокола, существует его модифицированная версия, направленная на диагностику тромботических осложнений у пациентов с COVID-19. Данная модификация включает применение сфокусированной эхокардиографии, что совместно позволяет диагностировать тромбоэмболию легочной артерии [45].

Важностью частью диагностики многих острых состояний, включая шок, является анализ состояния нижней полой вены. УЗИ позволяет провести оценку диаметра нижней полой вены, и потому исследование области данного сосуда входит в несколько протоколов для неотложной помощи, в частности при гипотензии и шоке неясного генеза [46–48].

Однако протоколы проведения УЗИ не ограничиваются описанными выше протоколами, и в настоящее время расширяется применение ультразвуковых протоколов не только в неотложной помощи, но и в других областях медицины, в том числе как часть POCUS. Стандартизированный протокол POCUS может быть использован для мониторинга центральных венозных катетеров врачами, имеющими отличные от ►►

ультразвуковой диагностики специализации. 94% ультразвуковых изображений совпали с радиологическим отчетом. Чувствительность, специфичность и положительная прогностическая ценность данного POCUS-протокола составили 0,97; 0,66 и 0,98 соответственно [49].

3. Анализ средним медицинским персоналом

Средний медицинский персонал может быть успешно задействован не только в выполнении УЗИ, но и в его анализе. Обучение медсестер проведению УЗИ для диагностики острой дыхательной недостаточности и шока возможно с дистанционным менторством. В работе Olivieri P.P. и соавт. золотым стандартом диагностики был принят POCUS, проводимый врачами интенсивной терапии с оценкой функций сердца и состояния легочной ткани. Медсестры проводили УЗИ с теленаблюдением и контролем специалиста в режиме реального времени. При этом в обоих методах исследования проводились по одинаковому протоколу. Конкордантность между двумя методами составила 90%-100% для функциональной оценки левого и правого желудочков, наличия гидроперикада, скопления легких, легочного интерстициального синдрома, гидроторакса и 80% для оценки консолидации легочной ткани. Аналогичной была конкордантность между теле-УЗИ и КТ [50].

Постоперационные осложнения являются относительно частыми явлениями, которые, несмотря на их частоту, можно вовремя предотвратить. Одним из вариантов осложнений является постоперационная задержка мочи и перерастяжение мочевого пузыря. В статье Pierson M. и соавт. описано применение ультразвуковой оценки мочевого пузыря медсестрами после проведения лобэктомии. Медсестры выполняли стандартизированный алгоритм, включавший в себя получение устного согласия от пациента на проведение процедуры, проведение УЗИ мочевого пузыря и документацию объемов остаточной мочи и результатов. В исследовании приняли участие 179 пациентов из отделения торакальной хирургии. До начала использования описанного метода частота задержки мочи после лобэктомии составляла 21%, однако результаты работы показали снижение данного показателя до 8%. Таким образом, рутинное выполнение УЗИ мочевого пузыря медсестрами позволяет снизить количество постоперационных осложнений, таких как задержка мочи [51].

Использование средним медицинским персоналом протоколов УЗИ для своевременной диагностики неотложных состояний или их факторов риска также необходимо в рутинной клинической практике для снижения частоты повторной госпитализации и смерти. В исследовании Zisis G. и соавт. было предложено применение медсестрами протокола LUICA для оценки возможных исходов у пациентов, госпитализированных с острой декомпенсированной сердечной недостаточностью (ОДСН). Протокол LUICA включал в себя оценку 9 зон при выполнении УЗИ легких и нижней полой вены. Медсестры выполнили УЗИ у 240 пациентов с ОДСН, далее просмотр полученных изображений выполнялся независимо другими медсестрами с оценкой сопутствующих осложнений для выявления возможных исходов. Результаты показали высокую прогностическую значимость протокола LUICA у пациентов с ОДСН, и его выполнение медсестрами позволяет получить качественные изображения и сформировать средним медицинским персоналом заключения, имеющие прогностическую ценность [52].

4. Анализ пациентом

Пациент, являясь обязательным участником лечебного процесса, также может быть задействован в анализе УЗИ. В педиатрии телеультразвук получил широкое применение, поскольку это снижает количество очных посещений врача и позволяет выполнять исследования в любое удобное время в домашних условиях, что повышает комплаентность всей семьи и создает возможности для регулярного и частого мониторинга патологий ребенка со своевременной диагностикой изменений в состоянии. В исследовании Chen A. и соавт. родителям детей с диагностированным синдромом Марфана было предложено выполнение эхокардиографии в домашних условиях с помощью ручного датчика. Данные с датчика передавались с помощью планшета и далее оценивались специалистами. Родители прошли очное обучение ЭХО-КГ и далее в течение 3 месяцев могли пройти повторное обучение с помощью видеоконференцсвязи. Родители были обучены проведению Эхо-КГ в трех плоскостях для визуализации корня аорты, аортального и митрального клапанов, левого желудочка. Сравнение измерений ширины корня аорты на дому и в клинике отличались в среднем на 3,4%. Z оценка данных измерений так же показала отсут-

стве статистически значимой разницы. Во время «теле-визитов» достаточно качественно визуализировали камеры сердца, что позволяло проводить наблюдения за пациентами без поездок в клинику. Авторы предполагают, что обучение родителей для проведения ЭХО-КГ на дому имеет потенциал применения в клинической практике. Данное исследование также показало возможность обучения пациентов и их родственников анализу изображений, получаемых с датчиков, для получения качественных визуальных данных [53].

5. Обучение ультразвуковой диагностике

Иным вариантом применения телеультразвука многие авторы видят его использование для обучения будущих врачей ультразвуковой диагностики и врачей других специальностей, когда очное проведение обучения ограничено вследствие удаленности эксперта от обучающегося или наличия эпидемиологических ограничений.

Во время пандемии ограничивались не только очные взаимодействия врач-пациент, но и врач-врач, что затрудняло получение новых знаний и навыков. В ретроспективном обсервационном исследовании авторы сравнили качество обучения специалистов ультразвуку в рамках непрерывного медицинского образования на очных курсах и заочных курсах телеультразвука. Результаты показали отсутствие значимой разницы между данными способами обучения ($p=0,069$), что говорит об одинаковой эффективности очных и заочных курсов [54].

Помимо абдоминальных исследований, широкое распространение получило УЗИ молочных желез, используемое в диагностике рака молочных желез и обладающее преимуществом перед маммографией, заключающейся в отсутствии ионизирующего излучения. Однако диагностика рака молочных желез, который в настоящее время находится на первом месте среди первичной заболеваемости у женщин различными видами опухолей, может быть затруднена в удаленных населенных пунктах, что приводит к поздней диагностике и значительному снижению качества жизни таких пациенток [55]. По статистике Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), большинство случаев заболевания раком молочной железы приходится на страны с низким и средним уровнем дохода [56]. В таких местах важным становится обучение персонала, не

имеющего опыта в УЗИ. В проспективном параллельно контролируемом исследовании была оценена возможность синхронного телеультразвука для повышения качества ультразвукового исследования, проводимого врачом с опытом выполнения менее 30 ультразвуковых исследований. В работе приняли участие два врача без опыта выполнения УЗИ (практикант А и практикант В), врач-ментор и 99 пациентов. Данные с аппарата УЗИ передавались в режиме реального времени ментору, который контролировал выполнение исследования и, при необходимости, корректировал действия практиканта В, в то время как практикант А выполнял работу с пациентом самостоятельно. Практикант В по результатам исследования имел больше случаев совпадения характеристик выбранных лимфоузлов (5 из 9-ти характеристик, 55,6%) с мнением эксперта, в то время как результат практиканта А был 1/9 или 11,1%. Кроме того, соглашение между учеником и ментором о выбранной оценке по классификации BI-RADS было так же выше в случае практиканта В и составило в среднем 0,89 против 0,73 у практиканта А. Данная работа показала возможность применения синхронного УЗИ для обучения врачей [57].

Применение телеультразвука под контролем специалиста врачом без опыта также показало высокие результаты в диагностике заболеваний щитовидной железы. В проведении УЗИ двум резидентам необходимо было определить размеры щитовидной железы, размеры узлов и их характеристики. В данном случае резидентом В, получавшим помощь ментора с помощью синхронного телеУЗИ, было найдено больше узлов, чем резидентом А: 89,4% и 56,5% соответственно. Кроме того, внутрикласовые коэффициенты корреляции в рамках классификации TI-RADS для резидента В составили $>0,75$, в то время как для резидента А они составили 0,40-0,75. Таким образом, синхронные телеУЗИ позволяют достичь более высоких результатов и диагностики, сравнимой с экспертным уровнем [58].

Важной областью ультразвукового исследования является эхокардиография (ЭХО-КГ), которое позволяет диагностировать различные заболевания сердца, включая острые патологии. Однако данный вид исследования требует значительного опыта и высокого уровня знаний для его качественной интерпретации, и не всегда ►►

это может быть достигнуто в ресурсно ограниченных областях. В исследовании Капеко Т. и соавт. была проверена возможность применения телеУЗИ для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Практикант с помощью ручного УЗ-датчика и связанного с ним планшета, позволяющего в режиме реального времени передавать видео с датчика, проводил сканирования областей интереса. В первой части исследования функции сердца, такие как фракция выброса левого желудочка, и диагноз практикант ставил полностью самостоятельно. Во второй части он проводил те же исследования, но совместно с экспертом ЭХО-КГ с помощью телеУЗИ. Золотым стандартом диагностики были выбраны диагнозы, поставленные независимым экспертом. В первой части внутриклассовые коэффициенты корреляции составили 0,44-0,76 для различных характеристик функций сердца, а для второй части исследования данные коэффициенты составили 0,89-0,99. При помощи телеУЗИ авторы добились полного согласия между независимым экспертом и практикантом при определении клапанных пороков сердца [59].

Помимо применения стандартных аппаратов ультразвуковой диагностики, в настоящее время проводятся исследования применения коммерчески доступного оборудования (УЗ-датчика). В данной работе 10 врачей провели 45 POCUS исследований легких и сердца с помощью телементора, который мог видеть данные с УЗ-датчиков и обзорное видео пациента и врача, проводящего УЗИ, с двух камер. Ключевыми для проведения телеУЗИ авторы выделили время проведения исследования, настройки доступа. Врачи выделили необходимым наличие общей терминологии между врачами «на месте» и менторами [60].

В статье Grubic N. и соавт. в рамках обучения не экспертов были использованы теле-POCUS консультации. Участие в обучении приняли 10 терапевтов из удаленных регионов, общая длительность курса составила 3 недели, и программа обучения состояла из электронного обзорного модуля, независимой практики навыков и теле-POCUS-консультаций с экспертами. Во время обучения было проведено 76 консультаций. Сравнение навыков до обучения и после, оцениваемое по 5-балльной шкале Ликерта, по-



Практикант самостоятельно
Trainee alone

LV Ejection Fraction

	normal	borderline	impaired
impaired - Trainee without tele-advice	0	0	3
borderline	7	4	1
normal	14	1	1
	normal	borderline	impaired
	Specialist		

Средняя точность
Moderate Accuracy

Фракция выброса левого желудочка
LV Ejection Fraction



Практикант с теле-менторством с помощью устройства
Trainee with tele-advice via the device

	normal	borderline	impaired
impaired - Trainee with tele-advice	0	0	5
borderline	0	5	0
normal	21	0	0
	normal	borderline	impaired
	Specialist		

Высокая точность
Perfect Accuracy

Рис. 4. Повышение точности проведения эхокардиографии при применении синхронного телеультразвука для обучения практикантов [59]
Fig. 4. Improving the accuracy of echocardiography when using synchronous teleultrasound for training trainees [59]

казало значительное улучшение: средние баллы по качеству изображений возросли с 2,40 до 4,03 ($p < 0,01$); по интерпретации – с 2,50 до 4,40 ($p < 0,02$) для УЗИ сердечно-сосудистой системы. Таким образом, применение теле-POCUS оправдано для обучения врачей-терапевтов, имеющих ограниченный доступ к очному обучению вследствие работы в удаленных населенных пунктах [61].

В статье Jensen S.H. и соавт. сравнили качество УЗИ, проведенного терапевтами без помощи и с дистанционной помощью врача-специалиста. В данном слепом кластерном рандомизированном исследовании терапевты были разделены на две группы по 10 человек, которые провели УЗИ 44-х пациентов. Результаты каждого УЗИ были оценены по шкале от 4 до 20 баллов. В группе без теле-менторинга средняя оценка составила 10,9, тогда как в группе с ментором средняя оценка была 12,6. Кроме того, во второй группе второе сканирование по качеству было на 9% ближе к качеству выполнения Узи экспертом, чем у первой группы. Авторы поддерживают применение УЗИ с теле-менторингом терапевтами [62].

III.2. Анализ с помощью искусственного интеллекта

В настоящее время все большее развитие получает применение машинного обучения и искусственного интеллекта на базе глубокого машинного обучения для диагностики различных патологий.

В статье Liang X. и соавт. представлено решение на основе ИИ для диагностики узловых образований щитовидной и молочной желез на изображениях, полученных в ходе УЗИ [63]. Всего в ходе работы было проанализировано 537 изображений от 221 пациента. Поскольку все изображения были получены с помощью разных устройств, были применены различные методы стандартизации: приведение всех изображений к единому формату 315x315 пикселей, их сохранение в PNG. Стандартом диагностики в данном исследовании были приняты результаты патолого-анатомических исследований материалов от тех же пациентов. Данные были разделены на 4 группы, в зависимости от метода обучения – классификация или сегментация изображений. Наиболее высокая точность была достигнута в группе, где сегментированные изображения были

классифицированы по природе заболевания, и составила 92%. Для тестового набора данных чувствительность, специфичность и точность составили соответственно 84,9%, 69% и 75%. Авторы считают, что комбинация моделей сверточных нейронных сетей и клинических рекомендаций по УЗИ узловых образований щитовидной и молочных желез увеличивают точность диагностики.

В выборе направлений терапии важную роль играет своевременная диагностика метастазов. В работе Zhang L. и соавт. была обучена модель на основе метода обратного распространения ошибки (МОРО) для диагностики метастазов рака молочной железы в подмышечную область. В зависимости от количества скрытых слоев отличалась точность сегментации: для 2, 3, 4, 5, 6, 7, и 8 она составила соответственно 97.3%, 96.5%, 94.8%, 94.8%, и 94.1%. Таким образом, МОРО имеет высокую точность, чувствительность и специфичность для сегментации ультразвуковых изображений [64].

Мультицентровое исследование с применением сверточных нейронных сетей было направлено на диагностику патологий молочной железы, включая рак. В исследовании приняли участие 3623 пациента, в ходе УЗИ которых было получено 15648 изображений. Данные были случайным образом разделены на тренировочный и независимый тестовый наборы. В первый датасет вошло 7835 изображений от 1810 пациентов, а в тестовый – 7813 изображений от 1813 пациентов. Стандартом диагностики в данном исследовании были результаты игольной биопсии, взятой от каждого участника. Результаты биопсии – 1601 случай доброкачественной опухоли, 1179 случаев злокачественной опухоли, 572 случай воспалительных изменений ткани и 271 случай аденоза. Для различных видов ультразвукового исследования были созданы разные модели нейронной сети: модель только для 2D изображений (2D), модель для 2D и цветного доплеровского картирования (2D-CDFI), а также модель для 2D-CDFI и импульсно-волнового доплера (2D-CDFI-PW). Точность моделей 2D, 2D-CDFI и 2D-CDFI-PW составила соответственно 87.9%, 89.2%, и 88.7%. Кроме того, точность классификации моделей нейронной сети была значительно выше, чем у врачей лучевой диагностики, принявших участие в исследовании [65]. ►►

Применение сверточных нейронных сетей для создания 3D ультразвуковых изображений мочевого пузыря для мониторинга пациентов в постоперационном периоде показало более высокое качество получаемых изображений, чем стандартный метод. В экспериментальную и контрольную группу были включены по 30 пациентов. Критерием включения являлось наличие диагноза мышечного неинвазивного рака мочевого пузыря, поставленного на основании критериев диагностики из клинических рекомендаций по диагностике и лечению урологических заболеваний, а также трансуретральная резекция мочевого пузыря. В данной работе визуализация мочевого пузыря с помощью ультразвука была необходима для контроля динамики восстановления пациентов после операции в течение 12 месяцев в зависимости от выбранного метода взаимодействия пациентов с медицинским персоналом (стандартный метод мониторинга здоровья в контрольной группе и расширенный в экспериментальной). Обработка 3D изображений мочевого пузыря нейронной сетью в данной статье показала значительное улучшение качества изображения [66].

В статье Zhang J. и соавт. представлен опыт применения полностью автоматизированной интерпретации эхокардиографии. С помощью

14035 ЭХО-кардиограмм были обучены сверточные нейронные сети для определения 23 точек зрения, а также сегментации отделов сердца, видимых в 5 наиболее частых в клинической практике плоскостях. Кроме того, были созданы модели для определения 3 заболеваний: гипертонической кардиомиопатии, амилоидной кардиомиопатии и легочной артериальной гипертензии, конкордантность которых составила 0.93, 0.87 и 0.85 соответственно. Кроме того, авторы статьи автоматизировали вычисление фракции выброса и иные способы оценки функций сердца. Авторы предлагают использование автоматизированной интерпретации ЭХО-КГ для удаленной диагностики патологий сердца и стандартизации ультразвукового исследования сердца [67].

Автоматизированная сегментация ультразвуковых изображений медиальной головки икроножной мышцы с использованием сверточных нейронных сетей позволяет диагностировать заболевания опорно-двигательной системы [68].

Диагностика доброкачественных и злокачественных поражений печени с помощью преобразования Радона и bi-directional empirical mode decomposition (BEMD). Для выделенных характеристик был использован метод роя частиц для выбора характеристик для дальнейшей клас-

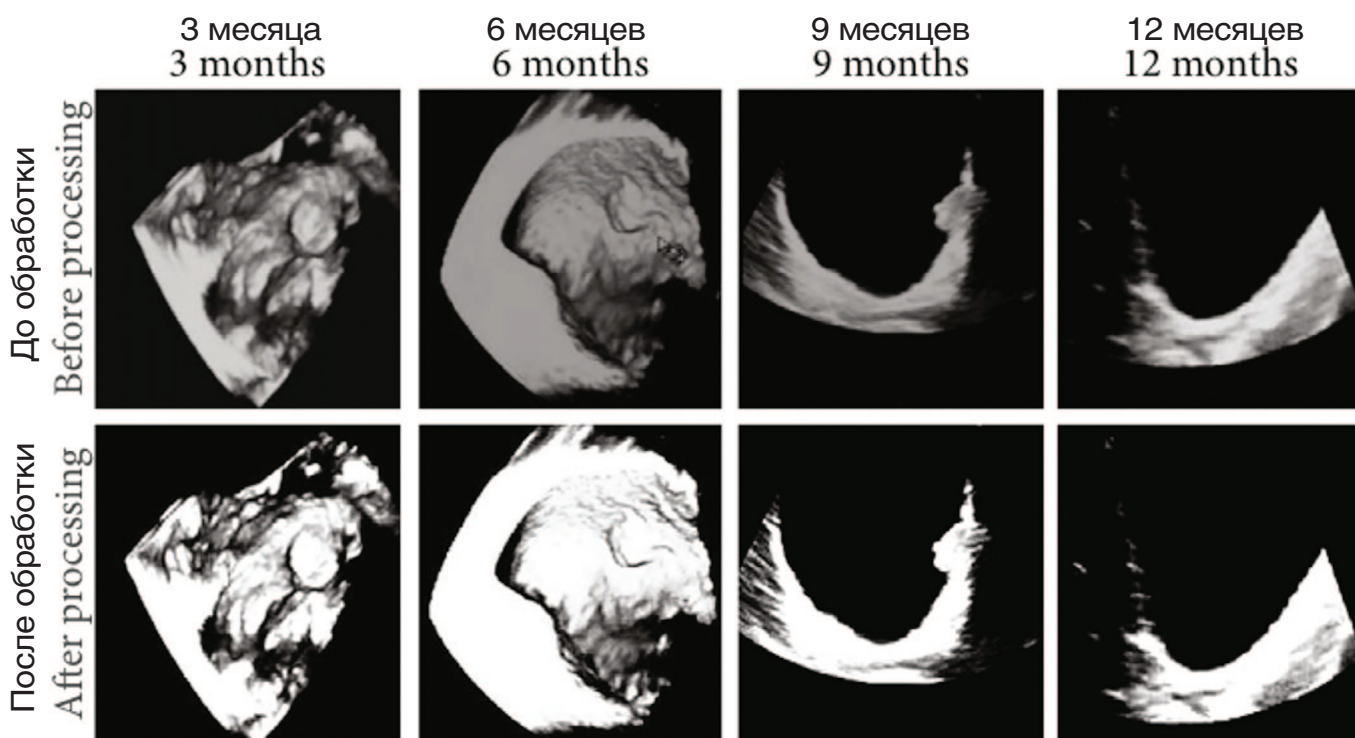


Рис. 5. Повышение качества 3D ультразвуковых изображений с помощью сверточных нейронных сетей [66]
 Fig. 5. Improving the quality of 3D ultrasound images using convolutional neural networks [66]

сификации. Для обучения было использовано 78 здоровых, 26 доброкачественных и 36 злокачественных областей поражения печени. Точность, чувствительность и специфичность классификации составили 92.95%, 90.80% и 97.44% соответственно. Применение данной системы может быть полностью автоматизированным, поскольку при работе с ней не требует выделение областей интереса на изображениях [69].

Метаанализ сравнения диагностики узлов щитовидной железы врачом ультразвуковой диагностики и с помощью искусственного интеллекта. В работу были включены 25 исследований. Объединенная чувствительность и специфичность для ИИ составили 0,86 и 0,78 соответственно, а для врача-специалиста составили 0,85 и 0,82, что показывает отсутствие статистически значимой разницы между методами анализа ультразвуковых изображений. Регрессионный метаанализ показал, что глубокое машинное обучение имеет более высокие показатели чувствительности и специфичности, чем стандартное машинное обучение. Таким образом, искусственный интеллект показал сравнимое с врачом качество диагностики узлов щитовидной железы с помощью УЗИ [70].

В статье Das. A. и соавт. описан анализ УЗИ-изображений с помощью машинного обучения для диагностики неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП) в педиатрии. Данные для обучения были собраны в рамках другого исследования НАЖБП, далее на изображения выделялись области интереса с помощью программного обеспечения ImageJ и MAZDA для анализа изображений. Из 93 здоровых объектов было выделено 484 области интереса и 260 областей интереса из изображений с НАЖБП, разработанная модель содержала алгоритмы Support Vector Machine, Neural Net и Extreme Gradient Boost. Проверка модели проводилась на тестовом датасете из 211 областей интереса от изображений, полученных от 42 детей, и показала точность определения патологии. Результаты показали, что данная модель, основанная на сравнении текстур, превосходила по точности модели, основанные на оценки индексов интенсивности [71].

Кроме обучения искусственного интеллекта определению органов и отдельных их структур на визуальных данных, отдельным разделом яв-

ляется обучение роботов автоматизированному выполнению ультразвукового исследования без участия врача или иного оператора. В таких случаях становится необходимым обучение аппарата определению положения самого себя в пространстве, умению определения и изменения силы, с которой датчик соприкасается с пациентом. Обзор подобных решений был описан нами в предыдущей статье [32].

IV. Просмотр и хранение визуальных УЗИ данных

Европейская федерация обществ УЗИ в медицине и биологии описала профессиональные стандарты работы с данными в УЗИ:

1. Все видео и изображения, полученные из стандартных точек для визуализации органов в ходе УЗИ, и любые патологические находки должны быть сохранены и описаны в заключении;

2. Данные ультразвукового исследования в цифровом виде должны быть доступны для всех участников лечебного процесса и должны быть вовремя переданы;

3. Обязательно хранение цифровых изображений исследования, рекомендовано использование стандарта DICOM и PACS [72].

Однако подобные стандарты применяются не повсеместно, что ведет к поиску собственных решений для хранения и работы с данными.

Внедрение системы мониторинга с помощью теле-УЗИ для пренатальной диагностики в местах с ограниченным доступом к качественной медицинской помощи. Программа, позволяющая обмениваться данными с врачом-экспертом с использованием DICOM-протокола. Программа обеспечивает полноценный процесс работы с данными, начиная от возможности внесения информации о пациенте, включая клинические данные, загрузки данных о пациенте из приложения в систему УЗИ больницы и до сохранения визуальных данных и экспертного заключения. Сохранение всех данных в формате DICOM протокола позволяет передавать их в другие медицинские учреждения для удаленного анализа врачом. Авторы используют данную систему для проведения акушерского скрининга и ведения беременности у пациенток в удаленных населенных пунктах. Важно отметить, что врач-гинеколог самостоятельно подключается к данной ►►

системе, в удобное для него время просматривает сохраненные исследования и формирует заключение [73].

Yi T. и соавт. представили открытую систему для анализа и хранения DICOM данных, способную взаимодействовать с PACS. Функционал системы рассчитан так же и на анализ данных с помощью искусственного интеллекта, таким образом, позволяя внедрить применение искусственного интеллекта в клиническую практику и уменьшить время анализа. Кроме того, авторы считают эффективным применение данной системы для навигации в больших данных, поскольку она позволяет быстро загружать необходимые изображения и применять заданные фильтры (возраст, дата, вид исследования) для поиска необходимых диагностических исследований [74].

Многие медицинские данные хранятся в пределах внутренней системы одной больницы, однако не редко пациент может менять лечебное учреждение, и в таком случае возникает проблема передачи предыдущих проведенных исследований и анализов в новое место. Для решения данной проблемы Jonske F. и соавт. представили программу на основе глубокого машинного обучения для классификации DICOM исследований для хранения в PACS. Алгоритм может идентифицировать 76 типов медицинских исследований среди семи модальностей (ультразвук, КТ, рентген-ангиография, рентгенография, МРТ, ПЭТ (+КТ/МРТ) и маммография), автоматически извлекая метаданные из снимков. Для классификации ультразвуковых исследований точность составила 81,4% (доверительный интервал 95%) при применении DenseNet-161 нейронной сети [75].

Поскольку DICOM является наиболее распространенным форматом хранения данных, то наличие ультразвуковых датасетов именно в DICOM формате значительно расширяет возможности для создания новых алгоритмов на основе искусственного интеллекта. Например, Funes-L. и соавт. использовали имеющиеся в открытом доступе DICOM данные В-режима УЗИ для создания алгоритма определения растяжимости сосудов. Обучение нейронных сетей работе с широко доступными и активно используемыми в клинической практике инструментами, такими как В-режим и DICOM формат, умень-

шает барьеры для внедрения автоматизированных алгоритмов в рутинную клиническую практику [76].

POCUS также предполагает создание полноценного потока работы с данными, включая документацию, хранение изображений, биллинг и кодирование заключений. Стандартным и исторически сложившимся методом в местах, где сохранение визуальных данных является рутинной практикой, считается печать фото, полученных на аппарате УЗИ, или их хранение на USB-носителе. Однако с развитием цифровых систем появилась возможность сохранения визуальных данных в цифровом виде с интеграцией в PACS. Сохранение визуальных данных в цифровом виде, связанными с историей болезни пациента, позволяет всем участникам лечебного процесса иметь доступ к ним и самостоятельно просматривать, что улучшает качество оказания помощи, являющееся ключевым результатом для всей медицины [77].

Неотъемлемой частью POCUS является гарантия качества исследования, включая его перепроверку другими специалистами, однако не во всех больницах это учитывается в клинической практике. Отсутствие сохранения визуальных данных в неблагоприятных клинических случаях ограничивает врачей в вариантах повышения качества оказываемой помощи. Целью Aspler A. и соавт. было создание системы для сохранения данных POCUS в отделении неотложной помощи. Внедрение происходило с помощью знакомства врачей с программным обеспечением и другими инструментами по работе с цифровыми визуальными данными. Два раза в неделю отслеживалось количество оцифрованных исследований. За 9 месяцев работы процент врачей, которые стали рутинно сохранять визуальные данные, составил 51%, более 80% исследований было оцифровано. Таким образом, за 9 месяцев авторам статьи удалось внедрить практику сохранения данных в отделение, в котором до этого никакие визуальные ультразвуковые данные не сохранялись [78].

Аналогичное исследование по внедрению практики сохранения УЗИ-данных в отделения неотложной помощи было проведено Mani N. Для достижения поставленной цели аппарат для проведения POCUS был подключен к локальной сети для обеспечения передачи изображений в PACS,

а также были созданы отчетные формы и предоставлен доступ к компьютеризированной радиологической информационной системе для корректного сохранения данных. За 10 месяцев работы с новой системой были сохранены до 90% исследований в PACS, оценка врачей данной практики была положительной [79].

Melton M. и соавт. считают, что вследствие значительного разрыва между созданием новых технологий, в данном случае POCUS, и временем их применением в практике, многие отделения, где уже имеется доступ к выполнению POCUS, не мотивированы на сохранение визуальных данных в цифровом виде. В руках такого врача теряются такие значимые преимущества данной методики, как объективность диагностики и возможность последующего доступа к проведенному исследованию. Авторы предлагают введения системы поощрения и санкций для повышения мотивации врачей к полному документированию POCUS. В ходе исследования авторы использовали последовательно несколько методик для повышения мотивации: январь-июнь 2018 года – отсутствие каких-либо воздействий, июль-декабрь 2018 года – небольшой финансовый бонус для врачей, которые правильно задокументировали ультразвуковое исследование в течение своего дежурства, январь-июнь 2019 года – аналогично первому периоду, июль-декабрь 2019 года – удержание части годовой выплаты, если врач не проводил документацию минимального заданного количества из проведенных им УЗИ. Результаты показали значительное увеличение количества правильно оформленных документов в периоды, когда проводились оба метода мотивации (второй и четвертый). Отсутствие изменений во время периодов «отдыха» (первый и третий) доказывает прямую связь между мотивационными методами и повышением приверженности врачей к правильной работе с данными [80].

Появление все большего количества сохраненных ультразвуковых исследований ведет к появлению инструментов для работы с большими данными. Например, возможна оптимизация записанного видео с помощью искусственного интеллекта для снижения оператор-зависимости. Ключевым в данной работе является выделение наиболее значимых для диагностики сегментов в видео и их аннотация. Для глубокого машинного обучения было использовано более 200 часов

видео, записанных 341 УЗИ плода в третьем триместре. В полученных полных исследованиях далее полуавтоматически выделялись сегменты, представляющие клинический интерес. Обученная нейронная сеть выделяет самостоятельно необходимые сегменты и производит определение анатомических структур в них. Точность работы составляет 91,7%. Оптимизация видео позволяет убрать оператор-специфичные особенности, такие как длительность исследования, последовательность и распределение времени просмотра каждой области [81].

V. Фьюжн технологии

Фьюжн технологии (fusion technologies) – это совмещение сразу нескольких (обычно двух) способов визуализации для получения более качественного и точного изображения объектов.

Наибольшее распространение получило совмещение УЗИ и МРТ в диагностике рака предстательной железы. В настоящее время данный метод входит в клинические рекомендации по лечению рака предстательной железы [82].

Проспективное рандомизированное клиническое исследование показало, что для пациентов PI-RADS ≥ 3 МРТ/ТРУЗИ фьюжн биопсия предстательной железы имеет более высокий уровень выявления рака предстательной железы, чем систематическая биопсия предстательной железы [83]. Кроме того, применение 3D таргетной биопсии показывает более высокие уровни диагностики рака предстательной железы с высокими значениями шкалы Глиссона [84].

Так же в настоящее время интраоперационно применяется ультразвук с контрастным усилением совместно с КТ или МРТ (CEUS-СТ/MR), а также 3D-УЗИ/CEUS в тепловой абляции гепатоцеллюлярной карциномы. Рандомизированное контролируемое исследование было проведено на 374 пациентах, для навигации при проведении абляции у каждого пациента был случайным образом выбран один из трех методов навигации: CEUS, КТ/МРТ-CEUS и 3D-УЗИ/CEUS, с дальнейшей оценкой их эффективности. Результаты показали, что применение фьюжн технологий в данной области наиболее подходит для лечения пациентов с более тяжелым течением заболевания, например, наличием нескольких опухолей и наличием опухолей в опасных областях, таких как области рядом с крупными печеночными сосудами [85]. ►►

В статье Bernardo S. и соавт. было исследовано применение совмещение МРТ и виртуального УЗИ в режиме реального времени для диагностики патологий плода. В исследовании приняли участие 30 пациенток. В 10 случаях применение УЗИ помогло для постановки диагноза, в 15 случаев энцефалической патологии данная техника увеличила точность диагностики. Преимуществом УЗИ авторы называют более точное определение ишемическо-геморрагических патологий, в то время как МРТ позволяло диагностировать новообразования в головном мозге, таким образом, данные методы, используемые как фьюжн, дополняют друг друга [86].

Фьюжн ПЭТ/КТ и УЗИ может быть применен для навигации в режиме реального времени для проведения коровой биопсии лимфоузлов. В данной статье фьюжн технология была применена для поиска 30 лимфоузлов в трех группах пациентов, ранжированных по степени схождения или расхождения первоначальных заключений о состоянии лимфоузлов на ПЭТ/КТ и УЗИ. Во всех трех группах с помощью УЗИ-навигации в режиме реального времени все необходимые лимфоузлы были обнаружены, даже в случаях несовпадения ПЭТ/КТ и УЗИ, проведенных до данного вмешательства [87].

В статье Li S. и соавт фьюжн КТ и УЗИ был применен для перкутанной вертебропластики из унилатерального доступа для терапии остеопорозного тораколумбарного компрессионного перелома. Сравнение КТ/УЗИ проводилось с флюороскопией, традиционно применяемой для пункции. Результаты показали более высокую скорость проведения пункции под КТ/УЗИ визуализацией (2.50 ± 0.31 минут и 5.00 ± 0.65 минут для традиционного метода). Кроме того, в группе флюороскопии было отмечено некачественное введение препарата с частичной его потерей у одного пациента, в то время как в группе фьюжн-технологии этого не было найдено [88].

Однако фьюжн технологии не ограничиваются УЗИ, и могут совмещать любые методы визуализации, необходимые для проведения операции. Например, одноцентровое рандомизированное контролируемое пилотное исследование фьюжн-технологии для проведения аорто-подвздошной эндореваскуляризации показало более высокий успех данной технологии по сравнению с контрольной группой. В данном слу-

чае были применены КТ-ангиография и 2D флюороскопия [89]. Аналогичное исследование было проведено Barral P.-A. и соавт. для сравнения 2D/3D и 3D/3D фьюжн технологий для торакальной эндоваскулярной аортопластики. Результаты исследования показали более высокое качество изображения при применении 3D/3D, а также меньший объем использованного для визуализации контрастного вещества [90]. Наличие фьюжн технологий в различных областях медицины и с применением различных методов визуализации показывает потенциал данной методики и возможность его дальнейшего внедрения.

VI. Телеультразвук в акушерстве

УЗИ, как неионизирующий метод лучевой диагностики, получил широкое распространение в акушерстве и гинекологии для визуализации плода при беременности. Он стал скрининг-методом для своевременного выявления аномалий развития плода и аномалий беременности, однако в ряде стран и удаленных областях наблюдается ограниченный доступ к данной технологии [91]. Несмотря на то, что все описываемые в данном разделе варианты цифровой трансформации ультразвукового исследования, проведения телеультразвуковых консультаций и решения на базе искусственного интеллекта можно было бы распределить по соответствующим разделам статьи, важной особенностью акушерства является то, что беременные женщины не являются пациентами в прямом значении. Многие варианты беременности протекают без патологий, однако это не отменяет необходимости во врачебном наблюдении в течение беременности. Кроме того, потребность в регулярном акушерском наблюдении возникает у всех женщин вне зависимости от удаленности населенных пунктов, и потому вопрос о повышении доступа к ультразвуковым технологиям для данной категории стоит наиболее остро. Все эти особенности формируют применение ультразвука и телеультразвука в акушерстве в отдельное направление.

Исследование, проведенное Rabie N.Z. и соавт. показало, что телеультразвук может быть применен в пренатальной диагностике. Сравнение 3404 ультразвуковых исследований, проведенных в классическом варианте, и 2499 теле-

ультразвуковых исследований показало более высокую точность телеультразвука (95,9% против 90,97% у стандартного исследования) и специфичность (98,21% и 92,77%) [92].

В развивающихся странах существуют ограничения для повсеместного применения стандартного варианта УЗИ с личным присутствием врача при проведении обследования, что ведет к различным осложнениям беременности, повышая материнскую смертность. Решить данную проблему в перспективе может внедрение телеультразвука. В работе и соавт. сбор УЗИ данных был проведен с использованием ручного УЗ-датчика обученными за короткий срок медицинскими работниками, которые ранее не имели опыта работы с ультразвуком. Во время обследования связь с опытным акушером-гинекологом осуществлялась через видео-конференц-платформу, собираемые видеоданные с датчика также передавались с помощью этой платформы. В ходе исследования была проведена оценка субъективного удобства использования телеультразвука специалистами, мед работниками и пациентками, сравнение заключений, сформированных врачами ультразвуковой диагностики дистанционно и обученными мед работниками, проводившими УЗИ. Конкордантность 100 из 2795 случайно выбранных заключений составляла от 79% до 100% для каждого исследуемого параметра. 99,4% пациенток в опросе сообщили, что готовы порекомендовать знакомым и членам семьи применение телеультразвука. Из 2795 участниц, которым было проведено антенатальное телеУЗИ, 108 пациенток были отправлены на дальнейшее обследование в более крупные центры в связи с выявлением таких состояний, как многоплодная беременность (n=35), неправильным предлежанием плода (n=29), анэнцефалией (n=5), spina bifida (n=2) и иными патологиями [93].

В одноцентровом рандомизированном исследовании не меньшей эффективности была оценена точность и достоверность диагностики аномалий плода с помощью удаленно контролируемого и удаленно анализируемого УЗИ. В первой группе специалисты анализировали УЗИ, находясь рядом с пациентом, во второй группе врачи анализировали УЗИ удаленно в режиме реального времени. Разница в чувствительности обоих методов составила 0,0286 при границе не

меньшей эффективности 0,05. Специфичность, точность, положительная и отрицательная прогностическая ценность составили 94% для обеих групп. Таким образом, данное исследование показало не меньшую эффективность телеультразвука в диагностике аномалий плода [94].

УЗИ плода также становится основой для создания датасетов и решений на базе ИИ. В статье Prieto J.C. и соавт. представлен метод стандартизации сырых УЗИ изображений плода для создания датасета и дальнейшей классификации и определения гестационного возраста [95].

В наблюдении за состоянием плода участие самой женщины повышает шансы своевременной диагностики возможных отклонений. Появление ручных ультразвуковых датчиков, а также передачи всех данных с помощью приложений на смартфоне позволяет ввести пациентку в диагностический процесс. Hadar E. и соавт. представили опыт самостоятельного применения пациентками ручных УЗ-датчиков дома. В исследовании были включены 100 женщин с одноплодной беременностью, которые получили устройства для домашнего пользования на срок 7-14 дней и были обучены проведению сканирования. В день необходимо было выполнять от одного до трех сканов, при этом из каждого сканирования врач получал информацию о сердечной активности, объеме амниотической жидкости, движениях конечностей плода, состоянии тела и дыхательных движениях. В течение всего периода исследования было получено 1360 сканов. Успешное определение сердечной активности плода было достигнуто в 95,3% случаев, движений плода в 88,3% случаев, объема амниотической жидкости 92,2% случаев. Опрос пациенток показал среднюю оценку 4,4/5 полученного опыта применения УЗИ. Данное исследование показало возможности самостоятельного проведения УЗИ беременными пациентками с удаленной оценкой данных специалистом, что повышает их комплаентность и улучшает качество антенатальной помощи [96].

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном обзоре мы представили, что существующие решения, позволяющие использовать цифровые технологии в УЗИ, способствуют повышению качества ультразвуковых исследований, ►►

ведут к стандартизации получаемых данных, применению искусственного интеллекта для создания диагностических моделей, создают новые возможности для обучения, и ведут к формированию непрерывного стандартизированного процесса сбора информации и работы с полученными данными.

На основе проведенного обзора литературы мы можем выделить несколько тенденций в применении телеультразвука:

1. Телеультразвук в удаленных населенных пунктах с ограниченной медицинской помощью;
2. Телеультразвук в экстренной помощи, в условиях ограничения по времени и доступу к медицинской помощи, в том числе в космосе;
3. Телеультразвук в акушерстве;
4. Телеультразвук для домашнего использования пациентами, в том числе в педиатрии;
5. Телеультразвук для обучения специалистов.

Телеультразвук подразумевает выполнение ультразвукового исследования и либо параллельный анализ (*синхронный*) данных с помощью видеосвязи специалистом из другой точки, либо передачу данных и их дальнейший удаленный анализ (*асинхронный*). Преимуществом такого вида исследования является возможность его проведения любым не подготовленным или мало подготовленным человеком, начиная от среднего медицинского персонала и заканчивая самим пациентом или его родственниками. Синхронный ультразвук требует одновременного нахождения во время УЗИ нескольких участников этого исследования, и поэтому с помощью данного метода сложного решить кадровый дефицит, однако он увеличивает доступность к этим кадрам (например, в космосе). Асинхронный метод подразумевает разделение по времени процессов сбора и анализа, что решает проблему дефицита кадров, поскольку врач устраняется от процесса сбора информации и ассистенции во время телеУЗИ. В таком случае его задачей становится только анализ, гибко встраиваемый в рабочий график.

Широкое применение и дальнейший потенциал показали так называемые «ручные» ультразвуковые датчики, поскольку они имеют низкую стоимость относительно аппаратов УЗИ, применяемых в рутинной клинической практике, а также часто являются беспроводными, что упрощает их применение, в том числе для само-

стоятельного сбора информации пациентом. Данные могут быть переданы, например, с помощью приложения, установленного на смартфон. Кроме того, смартфон позволяет проводить аудио- и видеоконференцсвязь, а наличие двух камер (фронтальной и основной) упрощает демонстрацию пациента.

Основной парадигмой использования УЗИ считается его применение без возможности повторного просмотра исходных данных: они просматриваются в режиме настоящего времени, параллельно их сбору, и в рутинной практике далее не происходит их сохранения.

Несмотря на большее количество найденных в ходе написания статьи инструментов для сохранения и хранения УЗИ изображений, современные российские УЗИ протоколы, находящиеся в открытом доступе, подтверждают отсутствие широкого применения данной практики, поскольку они подразумевают только словесное описание изображения [97]. Таким образом, мы придерживаемся мнения об отсутствии сохранения визуальных данных УЗИ. В историю болезни пациента в подавляющем большинстве случаев попадает только письменное заключение врача ультразвуковой диагностики, а в дальнейшем лечащий врач не имеет доступа к исходным данным. В ходе обзора было найдено ограниченное количество решений на базе искусственного интеллекта. По нашему мнению, это приводит не только к необходимости повторного прохождения УЗИ или использования другим диагностических методов, но и замедляет внедрение искусственного интеллекта в УЗИ: для создания дата-сетов и обучения нейронной сети необходимо огромное количество данных, в то время как в ультразвуковой диагностике они не сохраняются.

Искусственный интеллект все больше внедряется в медицину, автоматизируя и упрощая анализ визуальных данных. Однако качественных дата-сетов и решений на базе искусственного интеллекта для УЗИ не так много. Основным ограничением является, на наш взгляд, оператор-зависимость данного вида лучевой диагностики. Данные анализируются врачом параллельно их сбору, что усложняет диагностику вследствие многозадачности врача: с одной стороны, ему необходимо направлять датчик, с другой стороны, анализировать изображение на

экране монитора, и, помимо этого, напрямую взаимодействовать с пациентом. Исходя из представленных ограничений, возможным решением является разделение процессов сбора информации и ее анализа. Успех данной методологии подтверждается другими методами лучевой диагностики, где изначально данные сохраняются, а также опытом сохранения ультразвуковых данных в других странах.

Тем не менее, датасеты с данными УЗИ все-таки существуют, в том числе в открытом доступе, например, на GitHub и иных источниках [98–101].

Благодаря стандартизированным протоколам и дистанционному обучению (с менторством или без) УЗИ становится более доступным, и его могут выполнять не только врачи ультразвуковой диагностики, но и все участники лечебно-диагностического процесса (лечащий врач, средний медицинский персонал, пациенты, родственники пациентов). Несмотря на то, что большинство пациентов не обладают достаточной компетенцией в медицине, проведенный анализ статей показал большое количество примеров их успешного обучения проведению ультразвукового исследования. Получаемые данные понятны и достаточны экспертам (врач ультразвуковой диагностики), которые их анализируют, в первую очередь благодаря созданным четким критериям проведения ультразвукового сканирования. Мы видим необходимым выделение протоколов как переходного этапа к цифровой трансформации. Подход к выполнению рутинных механических задач по перемещению датчика во время УЗИ с помощью не специалиста позволяет формализовать задачи, выделить необходимые движения и далее, например, обучить этому робота. Сейчас таких законченных решений ограниченное количество, но, мы считаем, что в дальнейшем это направление будет активно развиваться. Кроме того, мы считаем, что успех в данном направлении подчеркивает возможности применения математических методов, таких как машинное обучение и ИИ, в ультразвуковой диагностике. С помощью протоколов создаются изображения в одинаковых проекциях и одной и той же последовательности, что позволяет снизить субъективность исследований и работать в дальнейшем с полученными данными несколькими специалистами.

Некоторые авторы и такие организации, как Европейская федерация обществ УЗИ в медицине и биологии, видят применение DICOM неотъемлемой частью успешной цифровой трансформации УЗИ [72,74]. Такая тенденция также характерна и для других сфер медицины, например, патологической анатомии, где в настоящее время идет активный переход от отсутствия хранения цифровых данных к полному сохранению каждого исследования, его визуальной составляющей и заключений [102]. Возможно, одновременное появление согласия о хранении данных с помощью DICOM протокола сразу в нескольких областях медицины подтверждает эффективность разработок, которые идут в данном направлении.

Интерес представляют и фьюжн-технологии. На данном этапе наиболее распространено применение УЗИ и МРТ в диагностике заболеваний предстательной железы. Перспективными видятся поиски применения данной технологии в диагностике заболеваний других органов. Одной из важных особенностей использования фьюжн технологий является взаимное «обогащение» данных из разных модальностей (УЗИ, КТ, МРТ) для принятия клинического решения (например, при биопсии, аблации и т.д.). В сложившейся рутинной практике анализом этих данных занимается клиницист, который обладает информацией о КТ, МРТ и иных методиках, но, как правило, клиницист имеет информацию о разных модальностях только в виде субъективного заключения специалистов лучевой диагностики, а не в виде визуальных данных. Использование стандартизированных форматов, таких как DICOM, разных модальностей и их сплавления, потенциально позволит применять математические методы для поддержки принятия решений, что и демонстрируют фьюжн технологии. Нам кажется, что фьюжн как метод обогащения стандартизированных данных разных модальностей, может иметь большую перспективу в ближайшем будущем не только для навигации во время хирургии, но и для систем поддержки принятия врачебных решений. Залогом успешного внедрения данной методики является рутинный сбор и сохранение данных в формализованном виде.

Повышение доступности УЗИ, накопление данных и их хранение с помощью облачных ►►

решений приводит к возможности пациентам иметь доступ к этим данным. На наш взгляд, пациент является владельцем данных, и потому имеет право доступа к этой информации.

Кроме того, появление экономически доступных ультразвуковых систем, включающих в себя датчики, программы для смартфона и компьютера для обмена данными с врачом, позволяют пациенту самостоятельно проводить УЗИ на дому и передавать их лечащему врачу с получением заключения и комментариев, что делает пациента обязательным звеном в диагностическом поиске. Активное участие пациента в лечебном процессе позволяет в лице пациента получить не просто пассивного участника, а активного помощника врача, заинтересованного в собственном лечении.

Мы видим, что двухэтапный процесс получения и анализа информации может быть разделен на отдельные этапы с новыми технологическими решениями и новыми участниками, вклю-

чая не только людей, но и решения на базе ИИ. В таблице представлено наше видение цифровой трансформации ультразвуковой диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ультразвуковая диагностика является активно развивающейся областью инструментальной диагностики, и на данном этапе ее развития имеются все инструменты для цифровой трансформации. Однако в рутинной практике эти инструменты либо не применяются, либо применяются изолированно друг от друга, что тормозит создание непрерывного бизнес-процесса в данной области. Появление портативных и ручных УЗ-датчиков, разработка стандартизированных протоколов и внедрение POCUS в рутинную клиническую практику, использование роботов УЗИ позволяет уйти от таких недостатков ультразвука, как его оператор-зависимость и значи-

Таблица 1. Цифровая трансформация ультразвуковой диагностики
Table 1. Digital transformation of ultrasound diagnostics

Стандартный этап ультразвукового исследования Standard Ultrasound step	Этап УЗИ в непрерывной цифровой модели Ultrasound stage in a continuous digital model	Примеры Examples
Выполнение УЗИ врачом ультразвуковой диагностики: сбор данных и их одновременный анализ Ultrasound performed by an ultrasound doctor: data collection and their simultaneous analysis	Сбор информации Collection of information	<ol style="list-style-type: none"> 1. Средним мед.персоналом [50,61] 1. By nursing staff [50,61] 2. УЗ-роботом+удаленно врачом [32] 2. Via ultrasound robot + remotely by a doctor [32] 3. УЗ-роботом автономно [33] 3. Via autonomous ultrasound robot [33] 4. Людьми без мед.образования (например, пациентами) [15,53] 4. By people without medical education (for example, patients) [15,53]
Написание заключения Writing a conclusion	Сохранение информации Saving Information	<ol style="list-style-type: none"> 1. Локально на устройстве 1. Locally on the device 2. Отправка на сервер [11,18,19,59,60] 2. Sending to server [11,18,19,59,60]
	Передача информации Transfer of information	<ol style="list-style-type: none"> 1. В формате аудиовидеосвязи в режиме настоящего времени напрямую врачу-специалисту [34] 1. In the format of audio-video communication in real time directly to a specialist doctor [34] 2. В любое время после выполнения УЗИ с помощью интернета [18] 2. At any time after performing an ultrasound using the Internet [18]
	Анализ информации Information analysis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Удаленно врачом-специалистом 1. Remotely by a medical specialist 2. Синхронно проведению УЗИ [34] 2. Simultaneously with ultrasound [34] 3. Асинхронно [15] 3. Asynchronously [15] 4. Искусственным интеллектом и подтверждением диагноза врачом [63,71] 4. Artificial intelligence and confirmation of the diagnosis by a doctor [63,71]
Хранение информации: бумажный носитель Information storage: paper carrier	Хранение информации Data storage	<ol style="list-style-type: none"> 1. В электронных медицинских системах [77] 1. In electronic medical systems [77]
Доступ пациента: просмотр заключения Patient Access: Review the conclusion	Доступ пациента Patient Access	<ol style="list-style-type: none"> 2. Удаленно в любое время как к заключению, так и к визуальным исходным данным 2. Remotely at any time to both the conclusion and visual inputs

тельная субъективность исследования. Создание систем передачи и баз для хранения визуальных данных, их внедрение в PACS ведет к расширению возможностей работы с данными УЗИ, включая создание датасетов, передачу данных для анализа другими врачами-специалистами и развитию нового направления – теле-

ультразвука, что в свою очередь расширяет доступность медицины в ресурсно-ограниченных областях. Существующие решения позволяют пациенту напрямую участвовать в лечебно-диагностическом процессе, повышая его комплаентность и делая активным участником бизнес-процесса. █

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет за 2020 г. главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике Тюрина И.Е. [Электронный ресурс]. [Report for 2020 by the chief freelance specialist of the Ministry of Health of Russia on radiation and instrumental diagnostics Tyurina I.E. [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/Отчет_за_2020_год_Тюрин.pdf?1624967722 (accessed: 07.12.2022).
2. Ultrasound Imaging [Electronic resource]. URL: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-imaging/ultrasound-imaging#careproviders> (accessed: 05.01.2023).
3. Hashim A, Tahir MJ, Ullah I, Asghar MS, Siddiqi H, Yousaf Z. The utility of point of care ultrasonography (POCUS). *Annals of Medicine and Surgery* 2021;(71):102982.
4. Bledsoe A, Zimmerman J. Ultrasound. *Anesthesiology Clinics* 2021;39(3):537–553.
5. Shepherd J, Mukthapuram S, Kim JH. Neonatal POCUS: Embracing our modern day “stethoscope”. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine* 2022;27(5):101394.
6. Britton N, Miller MA, Safadi S, Siegel A, Levine AR, McCurdy MT. Tele-Ultrasound in Resource-Limited Settings: A Systematic Review. *Front. Public Health* 2019;(7):244.
7. Malik AN, Rowland J, Haber BD, Thom S, Jackson B, Volk B, et al. The Use of Handheld Ultrasound Devices in Emergency Medicine. *Curr Emerg Hosp Med Rep* 2021;9(3):73–81.
8. Tang C, Guss D, Tanaka MJ, Lubberts B. Portable ultrasound devices: A method to improve access to medical imaging, barriers to implementation, and the need for future advancements. *Clinical Imaging* 2022;(81):147–149.
9. Boniface KS, Sikka N, Page N, Peretz A, Shokoohi H. A cruise ship emergency medical evacuation triggered by handheld ultrasound findings and directed by tele-ultrasound. *International Maritime Health* 2020;71(1):42–45.
10. Scott JM, Downs M, Martin DS, Houglund E, Sarmiento L, Arzeno N, et al. Teleguided self-ultrasound scanning for longitudinal monitoring of muscle mass during spaceflight. *iScience* 2021;24(4):102344.
11. Arbeille Ph, Chaput D, Zuj K, Depriester A, Maillot A, Belbis O, et al. Remote Echography between a Ground Control Center and the International Space Station Using a Tele-operated Echograph with Motorized Probe. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2018;44(11):2406–2412.
12. Johansen BD, Blue RS, Castleberry TL, Antonsen L, Vanderploeg JM. Point-of-Care Ultrasound for Pulmonary Concerns in Remote Spaceflight Triage Environments. *Aerospace Medicine and Human Performance* 2018;89(2):122–129.
13. Garcia KM, Harrison MF, Sargsyan AE, Ebert D, Dulchavsky SA. Real-time Ultrasound Assessment of Astronaut Spinal Anatomy and Disorders on the International Space Station. *J of Ultrasound Medicine* 2018;37(4):987–999.
14. Kirkpatrick AW, McKee JL, Moeini Sh, Conly JM, Ma IWY, Baylis B, et al. Pioneering Remotely Piloted Aerial Systems (Drone) Delivery of a Remotely Tele-mentored Ultrasound Capability for Self Diagnosis and Assessment of Vulnerable Populations – the Sky Is the Limit. *J Digit Imaging* 2021;34(4):841–845.
15. Kirkpatrick AW, McKee JL, Ball ChG, Ma IWY, Melniker LA. Empowering the willing: the feasibility of tele-mentored self-performed pleural ultrasound assessment for the surveillance of lung health. *Ultrasound J* 2022;14(1):2.
16. Hjorth-Hansen AK, Andersen GN, Graven T, Gundersen GH, Kleinau JO, Mjilstad OCh, et al. Feasibility and Accuracy of TELE-ECHOCARDIOGRAPHY. With Examinations by Nurses and Interpretation by an Expert via Telemedicine, in an Outpatient Heart Failure Clinic. *J Ultrasound Med* 2020;39(12):2313–2323.
17. Britton N, Miller MA, Safadi S, Siegel A, Levine AR, McCurdy MT. Tele-Ultrasound in Resource-Limited Settings: A Systematic Review. *Front. Public Health* 2019;(7):244.
18. Marini TJ, Oppenheimer DC, Baran TM, Rubens DJ, Dozier A, Garra B, et al. Testing telediagnostic right upper quadrant abdominal ultrasound in Peru: A new horizon in expanding access to imaging in rural and underserved areas. *PLoS ONE*. ed. Makkar A. 2021;16(8):e0255919.
19. Marini TJ, Weiss SL, Gupta A, Zhao YT, Baran TM, Garra B, et al. Testing telediagnostic thyroid ultrasound in Peru: a new horizon in expanding access to imaging in rural and underserved areas. *J Endocrinol Invest* 2021;44(12):2699–2708.
20. Duan Sh, Liu L, Chen Y, Yang L, Zhang Ye, Wang Sh, et al. A 5G-powered robot-assisted teleultrasound diagnostic system in an intensive care unit. *Crit Care* 2021;25(1):134.
21. Rouse ChA, Woods BT, Mahnke CB. A retrospective analysis of a pediatric tele-echocardiography service to treat, triage, and reduce trans-Pacific transport. *J Telemed Telecare* 2018;24(3):224–229.
22. Morel B, Hellec C, Fievet A, Taveau CS, Abimelech M, Dujardin PA, et al. Reliability of 3-D Virtual Abdominal Tele-ultrasonography in Pediatric Emergency: Comparison with Standard-of-Care Ultrasound Examination. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2022;48(11):2310–2321.
23. Kuru K, Ansell D, Jones M, Goede ChDe, Leather P. Feasibility study of intelligent autonomous determination of the bladder voiding need to treat bedwetting using ultrasound and smartphone ML techniques: Intelligent autonomous treatment of bedwetting. *Med Biol Eng Comput* 2019;57(5):1079–1097.
24. Kuru K, Ansell D, Jones M, Watkinson BJ, Caswell N, Leather P, et al. Intelligent autonomous treatment of bedwetting using non-invasive wearable advanced mechatronics systems and MEMS sensors: Intelligent autonomous bladder monitoring to treat NE. *Med Biol Eng Comput* 2020;58(5):943–965.
25. Caswell N, Kuru K, Ansell D, Jones MJ, Watkinson BJ, Leather P, et al. Patient Engagement in Medical Device Design: Refining the Essential Attributes of a Wearable, Pre-Void, Ultrasound Alarm for Nocturnal Enuresis. *Pharm Med* 2020;34(1):39–48.
26. Yeung CK. Continuous real-time ambulatory urodynamic monitoring in infants and young children using infrared telemetry. *BJU Int* 1998;(81):s3.
27. Kwinten WMJ, van Leutenen PG, van Duren-van Iersel M, Dik P, Jira PE. SENS-U: continuous home monitoring of natural nocturnal bladder filling in children with nocturnal enuresis – a feasibility study. *Journal of Pediatric Urology* 2020;16(2):196.e1–196.e6.
28. van Leutenen PG, Klijn AJ, de Jong TPVM, Dik P. SENS-U: validation of a wearable ultrasonic bladder monitor in children during urodynamic studies. *Journal of Pediatric Urology* 2018;14(6):569.e1–569.e6.
29. Chen A, Rhoades RD, Halton AJ, Booth JCh, Shi X, Bu X, et al. Wireless Wearable Ultrasound Sensor to Characterize Respiratory Behavior. Biomedical Engineering Technologies. ed. Ossandon MR, Baker H, Rasooly A. New York, NY: Springer US 2022;(2393):671–682.
30. Wang Ch, Chen X, Wang L, Makihata M, Liu H-Ch, Zhou T, et al. Bioadhesive ultrasound for long-term continuous imaging of diverse organs. *Science* 2022;377(6605):517–523.
31. Yin Z, Chen H, Yang X, Liu Y, Zhang N, Meng J, et al. A Wearable Ultrasound Interface for Prosthetic Hand Control. *IEEE J. Biomed. Health Inform* 2022;26(11):5384–5393.
32. Department of Innovative Development and Scientific Design of the Central Research Institute of Organization and Informatization of Health Care of the Ministry of Health of the Russian Federation. Ultrasound robots: ready-to-use solutions and perspective directions. *RJTEH* 2022;8(2):21–41.
33. Li T, Meng X, Tavakoli M. Dual Mode pHRI-teleHRI Control System with a Hybrid Admittance-Force Controller for Ultrasound Imaging. *Sensors* 2022;22(11):4025.
34. Butterfly TeleGuidanceTM [Electronic resource]. URL: <https://www.butterfly-network.com/teleguidance>.
35. Blenkinsop G, Heller RA, Carter NJ, Burkett A, Ballard M, Tai N. Remote ultrasound diagnostics disrupting traditional military frontline healthcare delivery. *BMJ Mil Health* 2021; bmjilitary-2021-001821.
36. Rigamonti L, Kahle P, Peters H, Wolfarth B, Thouet Th, Bonaventura K, et al. Instructing Ultrasound-guided Examination Techniques Using a SocialMedia Smartphone App. *Int J Sports Med* 2021;42(4):365–370.
37. Whitney RE, Riera A, Chen L. Accuracy of Remote Interpretation of Pediatric

ЛИТЕРАТУРА

- Emergency Ultrasound Over Third Generation Networks Across Continents. *Pediatric Emergency Care* 2020;36(6):e340–e342.
38. Salerno A, Tupchong K, Verceles AC, McCurdy MT. Point-of-Care Teleultrasound: A Systematic Review. *Telemedicine and e-Health* 2020;26(11):1314–1321.
39. Bloom BA, Gibbons RC. Focused Assessment with Sonography for Trauma. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing 2022.
40. Ianniello S, Conte P, Serafino MD, Miele V, Trinci M, Vallone G, et al. Diagnostic accuracy of pubic symphysis ultrasound in the detection of unstable pelvis in polytrauma patients during e-FAST: the value of FAST-PLUS protocol. A preliminary experience. *J Ultrasound* 2021;24(4):423–428.
41. Netherton S, Milenkovic V, Taylor M, Davis PJ. Diagnostic accuracy of eFAST in the trauma patient: a systematic review and meta-analysis. *CJEM* 2019;21(6):727–738.
42. Skrzypek A, G—recki T, Krawczyk P, Podolec M, Cebula G, Jabłoński K, et al. Implementation of the modified four-step approach method for teaching echocardiography using the FATE protocol-A pilot study. *Echocardiography* 2018;35(11):1705–1712.
43. Ibekwe SO, Potluri V, Palvadi R, Best GT. Use of Point-of-Care Ultrasound and Focus-Assessed Transthoracic Echocardiography to Diagnose Acute Right Heart Failure Due to Fat Emboli in a Parturient. *Cureus* 2022.
44. Asmara OD, Pitoyo CW, Wulani V, Harimurti K, Araminta AP. Accuracy of Bedside Lung Ultrasound in Emergency (BLUE) Protocol to Diagnose the Cause of Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS): A Meta-Analysis. *Acta Med Indones* 2022;54(2):266–282.
45. Zaalouk TM, Bitar ZI, Maadarani OS, Elshabasy RDR. Modified BLUE protocol ultrasonography can diagnose thrombotic complications of COVID-19 with normal lung ultrasound. *Clin Case Rep* 2021;9(5).
46. Estoos E, Nakitende D. Diagnostic Ultrasound Use In Undifferentiated Hypotension. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing 2022.
47. Geng P, Ling B, Yang Y, Walline JH, Song Y, Lu M, et al. THIRD bedside ultrasound protocol for rapid diagnosis of undifferentiated shock: a prospective observational study. *Hong Kong Med J* 2022.
48. Burgos LM, Vila RB, Goyeneche A, Mu—oz F, Spaccavento A, Fasan MA, et al. Design and rationale of the inferior vena CAVA and Lung UltraSound-guided therapy in Acute Heart Failure (CAVAL US-AHF Study): a randomised controlled trial. *Open Heart* 2022;9(2):e002105.
49. P Motz, Arnim AV, Iyer RS, Chabra Sh, Likes M, Dighe M. Point-of-care ultrasound for peripherally inserted central catheter monitoring: a pilot study. *Journal of Perinatal Medicine* 2019;47(9):991–996.
50. Olivieri PP, Verceles AC, Hurley JM, Zubrow MT, Jeudy J, McCurdy MT. A Pilot Study of Ultrasonography-Naive Operators' Ability to Use Tele-Ultrasonography to Assess the Heart and Lung. *J Intensive Care Med* 2020;35(7):672–678.
51. Pierson M, Cretell B, Roussel M, Byrne P, Parkosewich J. A Nurse-Led Voiding Algorithm for Managing Urinary Retention After General Thoracic Surgery. *Crit Care Nurse* 2022;42(1):23–31.
52. Zisis G, Yang Y, Huynh Q, Whitmore K, Lay M, Wright L, et al. Nurse-Provided Lung and Inferior Vena Cava Assessment in Patients with Heart Failure. *Journal of the American College of Cardiology* 2022;80(5):513–523.
53. Chen A, Punn R, Collins RT, Chen JH, Stauffer KJ, Wang R, et al. Tele-Clinic Visits in Pediatric Patients with Marfan Syndrome Using Parentally Acquired Echocardiography. *The Journal of Pediatrics* 2021;(23):140–146.
54. Soni NJ, Boyd TE, Mints G, Proud KC, Jensen TP, Liu G, et al. Comparison of in-person versus tele-ultrasound point-of-care ultrasound training during the COVID-19 pandemic. *Ultrasound J* 2021;13(1):39.
55. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Рак [Electronic resource]. [World Health Organization (WHO). Cancer. (In Russian)]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cancer> (accessed: 01.12.2022).
56. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Рак молочной железы [Electronic resource]. [World Health Organization (WHO). Breast cancer [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer> (accessed: 01.12.2022).
57. Sun Yi-K, Li X-L, Wang Q, Zhou B-Y, Zhu A-Q, Qin Ch, et al. Improving the quality of breast ultrasound examination performed by inexperienced ultrasound doctors with synchronous tele-ultrasound: a prospective, parallel controlled trial. *Ultrasonography* 2022;41(2):307–316.
58. Li X-L, Sun Yi-K, Wang Q, Chen Zi-T, Qian Zh-B, Guo Le-H, et al. Synchronous tele-ultrasonography is helpful for a naive operator to perform high-quality thyroid ultrasound examinations. *Ultrasonography* 2022;41(4):650–660.
59. Kaneko T, Kagiyaama N, Nakamura Y, Hirasawa T, Murata A, Morimoto R, et al. Effectiveness of real-time tele-ultrasound for echocardiography in resource-limited medical teams. *J Echocardiogr* 2022;20(1):16–23.
60. Jensen SH, Duvald I, Aagaard R, Primdahl SC, Petersen P, Kirkegaard H, et al. Remote Real-Time Ultrasound Supervision via Commercially Available and Low-Cost Tele-Ultrasound: a Mixed Methods Study of the Practical Feasibility and Users' Acceptability in an Emergency Department. *J Digit Imaging* 2019;32(5):841–848.
61. Grubic N, Belliveau DJ, Herr JE, Nihal S, Wong SWS, Lam J, et al. Training of Non-Expert Users Using Remotely Delivered, Point-of-Care Tele-Ultrasound: A Proof-of-Concept Study in 2 Canadian Communities. *Ultrasound Quarterly* 2022; Vol. Publish Ahead of Print.
62. Jensen SH, Weile J, Aagaard R, Hansen KM, Jensen TB, Petersen MC, et al. Remote real-time supervision via tele-ultrasound in focused cardiac ultrasound: A single-blinded cluster randomized controlled trial. *Acta Anaesthesiol Scand* 2019;63(3):403–409.
63. Liang X, Yu J, Liao J, Chen Zh. Convolutional Neural Network for Breast and Thyroid Nodules Diagnosis in Ultrasound Imaging. *BioMed Research International* 2020;1–9 p.
64. Zhang L, Jia Zh, Leng X, Ma F. Artificial Intelligence Algorithm-Based Ultrasound Image Segmentation Technology in the Diagnosis of Breast Cancer Axillary Lymph Node Metastasis. *Journal of Healthcare Engineering*. ed. *Abdulhay E.* 2021;1–8 p.
65. Yu T-F, He W, Gan C-G, Zhao M-Ch, Zhu Q, Zhang W, et al. Deep learning applied to two-dimensional color Doppler flow imaging ultrasound images significantly improves diagnostic performance in the classification of breast masses: a multicenter study. *Chinese Medical Journal* 2021;134(4):415–424.
66. Shao Ch, Sun A, Xue H, Di X. Three-Dimensional Ultrasound Images in the Assessment of Bladder Tumor Health Monitoring under Deep Learning Algorithms. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. ed. Koundal D 2022; 1–10 p.
67. Zhang J, Gajjala S, Agrawal P, Tison GH, Hallock LA, Beussink-Nelson L, et al. Fully Automated Echocardiogram Interpretation in Clinical Practice: Feasibility and Diagnostic Accuracy. *Circulation* 2018;138(16):1623–1635.
68. Marzola F, van Alfen N, Salvi M, De Santi B, Doorduyn J, Meiburger KM. Automatic segmentation of ultrasound images of gastrocnemius medialis with different echogenicity levels using convolutional neural networks; 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). Montreal, QC, Canada: IEEE 2020; 2113–2116 p.
69. Acharya UR, Koh JEW, Hagiwara Y, Tan JH, Gertych A, Vijayanathan A, et al. Automated diagnosis of focal liver lesions using bidirectional empirical mode decomposition features. *Computers in Biology and Medicine* 2018;(94):11–18.
70. Potipimpanon P, Charakorn N, Hirunwiwatkul P. A comparison of artificial intelligence versus radiologists in the diagnosis of thyroid nodules using ultrasonography: a systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2022;279(11):5363–5373.
71. Das A, Connell M, Khetarpal S. Digital image analysis of ultrasound images using machine learning to diagnose pediatric nonalcoholic fatty liver disease. *Clinical Imaging* 2021;(77):62–68.
72. Wustner M, Radzina M, Calliada F, Cantisani V, Havre RF, Jenderka K-V, et al. Professional Standards in Medical Ultrasound – EFSUMB Position Paper (Long Version) – General Aspects. *Ultraschall Med* 2022;43(5):e36–e48.
73. Barro SG, Zampaligre I, Staccini P. Implementation of a Monitoring System for Pregnancy by Tele-Ultrasound in an African Context (Burkina Faso). *Studies in Health Technology and Informatics*. ed. Mantas J, et al. IOS Press 2022.
74. Yi Th, Pan I, Collins S, Chen F, Cueto R, Hsieh B, et al. DICOM Image Analysis and Archive (DIANA): an Open-Source System for Clinical AI Applications. *J Digit Imaging* 2021;34(6):1405–1413.
75. Jonske F, Dederichs M, Kim M-S, Keyl J, Egger J, Umutlu L, et al. Deep Learning-driven classification of external DICOM studies for PACS archiving. *Eur Radiol* 2022;32(12):8769–8776.
76. Funes-Lora MA, Thelen BJ, Shih AJ, Hamilton J, Rajaram N, Lyu J, et al. Ultrasound Measurement of Vascular Distensibility Based on Edge Detection and Speckle Tracking Using Ultrasound DICOM Data. *ASAIO Journal* 2022;68(1):112–121.
77. Zeidan A, Liu EL. Practical Aspects of Point-of-Care Ultrasound: From Billing and Coding to Documentation and Image Archiving. *Advances in Chronic Kidney Disease* 2021;28(3):270–277.
78. Aspler A, Wu A, Chiu S, Mohindra R, Hannam P. Towards quality assurance: implementation of a POCUS image archiving system in a high-volume community emergency department. *Can J Emerg Med* 2022;24(2):219–223.
79. Mani N. Implementing a quality framework for storing emergency department point-of-care ultrasound examinations on a picture archiving and communication system. *Ultrasound* 2021;29(4):252–259.
80. Melton M, Rupp JD, Blatt MI, Boyd JS, Barrett TW, Swarm M, et al. Description of the Use of Incentives and Penalties for Point-of-Care Ultrasound Documentation Compliance in an Academic Emergency Department. *Cureus* 2021.

ЛИТЕРАТУРА

81. Sharma H, Drukker L, Chatelain P, Droste R, Papageorgiou AT, Noble JA. Knowledge representation and learning of operator clinical workflow from full-length routine fetal ultrasound scan videos. *Medical Image Analysis* 2021;(69):101973.
82. Клинические рекомендации «Пак предстательной железы». [Clinical guidelines «Prostate Cancer» (In Russian)].
83. Zhang J, Zhu A, Sun D, Guo Sh, Zhang H, Liu Sh, et al. Is targeted magnetic resonance imaging/transrectal ultrasound fusion prostate biopsy enough for the detection of prostate cancer in patients with PI-RADS i3: Results of a prospective, randomized clinical trial. *J Cancer Res Ther* 2020;16(7):1698–1702.
84. Tang Y, Liu Zh, Tang L, Zhang R, Lu Y, Liang J, et al. Significance of MRI/Transrectal Ultrasound Fusion Three-Dimensional Model-Guided, Targeted Biopsy Based on Transrectal Ultrasound-Guided Systematic Biopsy in Prostate Cancer Detection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Urol Int* 2018;100(1):57–65.
85. Huang Q, Zeng Q, Long Y, Tan L, Zheng R, Xu E, Li K. Fusion imaging techniques and contrast-enhanced ultrasound for thermal ablation of hepatocellular carcinoma – A prospective randomized controlled trial. *International Journal of Hyperthermia* 2019;36(1):1206–1214.
86. Bernardo S, Giancotti A, Antonelli A, Rizzo G, Vinci V, Pizzuti A, et al. MRI and US in the evaluation of fetal anomalies: The need to work together. *Prenatal Diagnosis* 2017;37(13):1343–1349.
87. Garganese G, Bove S, Fragomeni S, Moro F, Triumbari EKA, Collarino A, et al. Real-time ultrasound virtual navigation in 3D PET. CT volumes for superficial lymph-node evaluation: innovative fusion examination. *Ultrasound in Obstet & Gynec* 2021;58(5):766–772.
88. Li Sh, Mi Sh, Guo R, Ma X, Han M. Application of ultrasound fusion imaging technique for unilateral percutaneous vertebroplasty in treatment of osteoporotic thoracolumbar compression fracture. *XST* 2020;28(1):171–183.
89. Beaufort LMD, Nasr B, Corvec TL, Brisard L, Guyomarc'h B, Fellah I, et al. Automated Image Fusion Guidance during Endovascular Aorto-Iliac Procedures: A Randomized Controlled Pilot Study. *Annals of Vascular Surgery* 2021;(75):86–93.
90. Barral P-A, Demasi-Jacquier MA, Bal L, Omnes V, Bartoli A, Piquet P, et al. Fusion Imaging to Guide Thoracic Endovascular Aortic Repair (TEVAR): A Randomized Comparison of Two Methods, 2D/3D Versus 3D/3D Image Fusion. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2019;42(11):1522–1529.
91. Wanyonyi SZ, Mutiso SK. Monitoring fetal growth in settings with limited ultrasound access. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology* 2018;(49):29–36.
92. Rabie NZ, Sandlin AT, Ounpraseuth S, Nembhard WN, Lowery C, Miguel KS, et al. Teleultrasound for pre-natal diagnosis: A validation study. *Australasian Journal of Ultrasound in Medicine* 2019;22(4):248–252.
93. Jemal K, Ayana D, Tadesse F, Adefris M, Awol M, Tesema M, et al. Implementation and evaluation of a pilot antenatal ultrasound imaging programme using tele-ultrasound in Ethiopia. *J Telemed Telecare* 2022; 1357633X2211157.
94. Whittington JR, Hughes DS, Rabie NZ, Ounpraseuth ST, Nembhard WN, Chauhan SP, et al. Detection of Fetal Anomalies by Remotely Directed and Interpreted Ultrasound (Teleultrasound): A Randomized Noninferiority Trial. *Am J Perinatol* 2022;3(2):113–119.
95. Prieto JC, Shah H, Rosenbaum AJ, Jiang X, Musonda P, Price JT, et al. An automated framework for image classification and segmentation of fetal ultrasound images for gestational age estimation. *Medical Imaging 2021: Image Processing*. ed. Landman B.A., Išgum I. Online Only, United States: SPIE 2021;55.
96. Hadar E, Wolff L, Tenenbaum-Gavish K, Eisner M, Shmueli A, Barbash-Hazan S, et al. Mobile Self-Operated Home Ultrasound System for Remote Fetal Assessment During Pregnancy. *Telemedicine and e-Health* 2022;28(1):93–101.
97. Протоколы УЗИ скринингов [Электронный ресурс]. [Ultrasound screening protocols [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: <https://wiki.is-mis.ru/pages/viewpage.action?pageId=123576090>.
98. Breast Ultrasound Images Dataset [Electronic resource]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/aryashah2k/breast-ultrasound-images-dataset>.
99. COVIDx-US: An open-access benchmark dataset of ultrasound imaging data for AI-driven COVID-19 analytics [Electronic resource]. URL: <https://github.com/nrc-cnrc/COVID-US>.
100. Ultrasound Image Dataset for Image Analysis Algorithms Evaluation [Electronic resource]. URL: https://www.vicomtech.org/demos/us_tracked_dataset/UsTrackedDataset.htm.
101. US-4 [Electronic resource]. URL: <https://paperswithcode.com/dataset/us-4>.
102. Clunie DA. DICOM Format and Protocol Standardization – Core Requirement for Digital Pathology Success. *Toxicol Pathol* 2021;49(4):738–749.

Сведения об авторах:

Лебедев Г.С. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных и интернет-технологий Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет); заведующий отделом инновационного развития и научного проектирования ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» МЗ РФ; Москва, Россия; geramail@rambler.ru; PИHЦ AuthorID 144872

Шадеркин И.А. – к.м.н., заведующий лабораторией электронного здравоохранения Института цифровой медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет); Москва, Россия; info@uroweb.ru; PИHЦ AuthorID 695560

Шадеркина А.И. – студентка 4го курса Института клинической медицины направление «Персонализированная медицина» Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовского университета); Москва, Россия; nastyashade01@yandex.ru; PИHЦ AuthorID 1064989

Вклад авторов:

Лебедев Г.С. – дизайн исследования, 10%
Шадеркин И.А. – научный интерес публикации, написание текста, 45%
Шадеркина А.И. – литературный обзор, написание текста, 45%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 2

Рецензирование: 1

Результаты рецензирования: 1

Принята к публикации: 1

Information about authors:

Lebedev G.S. – MD, PhD, professor, Head of the Department of Information and Internet Technologies at Sechenov University; Head of the Department of Innovative Development and Scientific Design of the Central Research Institute of Organization and Informatization of Health Care of the Ministry of Health of the Russian Federation; Moscow, Russia; geramail@rambler.ru

Shaderkin I.A. – MD, PhD, Head of the Laboratory of Electronic Health, Institute of Digital Medicine, Sechenov University; Moscow, Russia; info@uroweb.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8669-2674>

Shaderkina A.I. – 4-year student Institute of Clinical Medicine, department «Personalized medicine» of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University); Moscow, Russia; nastyashade01@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Authors contributions:

Lebedev G.S. – review design, 10%
Shaderkin I.A. – scientific interest of the article, text writing, 45%
Shaderkina A.I. – literature review, text writing, 45%

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Received: 2

Reviewing: 1

Peer review results: 1

Accepted for publication: 1