



Хамидов Обид Абдурахманович¹

Умаров Фаррух Умарович²

Бексалиева Гузель Рустамовна³

*1. Заведующий кафедры медицинской радиологии ФПДО,
Самаркандского государственного медицинского университета*

*2. Ассистент кафедры медицинской радиологии ФПДО,
Самаркандского государственного медицинского университета,*

*3. Клинический ординатор кафедры медицинской радиологии ФПДО,
Самаркандского государственного медицинского университета,
г. Самарканд, Узбекистан*

guzal6251@gmail.com +998943715862

**Трансформация протоколов ультразвуковой диагностики в эпоху цифровой
медицины и теле-реабилитации: от статического изображения к интеллектуальному
мониторингу**

Аннотация

В данной статье рассматривается фундаментальная парадигмальная трансформация ультразвуковой диагностики (УЗД) под воздействием четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0). Авторы анализируют переход от традиционного «оператороцентричного» подхода к модели, основанной на данных (data-driven), где ключевую роль играют искусственный интеллект (ИИ), интернет медицинских вещей (IoMT) и облачные вычисления. Особое внимание уделено интеграции ультразвуковых протоколов в структуру теле-реабилитации, что позволяет объективизировать процесс восстановления тканей в дистанционном формате. Рассматриваются вопросы кибербезопасности, стандартизации DICOM-поток и перспективы внедрения роботизированных теле-ультразвуковых систем.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, цифровая медицина, теле-реабилитация, искусственный интеллект, POCUS, нейронные сети, цифровая трансформация, IoMT, телемедицина, количественная сонография.

Annotatsiya.

Mazkur maqolada to'rtinchi sanoat inqilobi (Industry 4.0) ta'siri ostida ultratovush diagnostikasining (UTD) fundamental paradigmatic transformatsiyasi ko'rib chiqiladi. Mualliflar an'anaviy "operatorga bog'liq" yondashuvdan ma'lumotlarga asoslangan (data-driven) modelga o'tishni tahlil qiladilar, bunda asosiy rolni sun'iy intellekt (SI), tibbiy buyumlar interneti (IoMT) va bulutli hisoblash texnologiyalari egallaydi.

Alohida e'tibor ultratovush protokollarini tele-reabilitatsiya tizimiga integratsiya qilish masalalariga qaratilgan bo'lib, bu masofaviy formatda to'qimalarning tiklanish jarayonini obyektiv

baholash imkonini beradi. Shuningdek, kiberxavfsizlik, DICOM ma'lumot oqimlarini standartlashtirish va robotlashtirilgan tele-ultratrovush tizimlarini joriy etish istiqbollari muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: ultratrovush diagnostikasi, raqamli tibbiyot, tele-reabilitatsiya, sun'iy intellekt, POCUS, neyron tarmoqlar, raqamli transformatsiya, IoMT, telemeditsina, miqdoriy sonografiya.

Abstract.

This article examines the fundamental paradigm shift in ultrasound diagnostics (USD) under the influence of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0). The authors analyze the transition from a traditional operator-dependent approach to a data-driven model, in which artificial intelligence (AI), the Internet of Medical Things (IoMT), and cloud computing play a central role. Particular attention is given to the integration of ultrasound protocols into tele-rehabilitation frameworks, enabling objective assessment of tissue recovery processes in a remote setting. The study also addresses issues of cybersecurity, standardization of DICOM data streams, and the prospects for implementing robotic tele-ultrasound systems.

Keywords: ultrasound diagnostics, digital medicine, tele-rehabilitation, artificial intelligence, POCUS, neural networks, digital transformation, IoMT, telemedicine, quantitative sonography.

Введение

Цифровая трансформация здравоохранения (eHealth) радикально меняет архитектуру диагностических процессов. Ультразвуковая диагностика, долгое время считавшаяся наиболее субъективным методом визуализации, сегодня переживает «цифровой ренессанс». Традиционные протоколы, базирующиеся на описательном подходе врача, заменяются структурированными цифровыми отчетами, обогащенными метаданными и результатами автоматизированного анализа.

Параллельно с этим, концепция теле-реабилитации — дистанционного восстановления функций организма после травм, операций или перенесенных заболеваний (включая COVID-19 и его последствия) — требует внедрения инструментов объективного контроля. В этом контексте трансформация УЗИ-протоколов становится не просто технологическим обновлением, а необходимым условием для обеспечения преемственности и безопасности медицинской помощи.

Цель исследования

Комплексный анализ эволюции протоколов УЗИ-исследований в условиях цифровизации и разработка концептуальной модели интеграции ультразвукового мониторинга в персонализированные программы теле-реабилитации.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование основано на междисциплинарном анализе современных научных данных, клинических подходов и технологических решений в области цифровой медицины за период 2021–2026 гг. В рамках работы было проанализировано более 180 научных источников, включающих оригинальные исследования, обзорные материалы, а также методические и технические разработки. Основное внимание уделялось вопросам цифровизации здравоохранения, телемедицины и внедрения технологий искусственного интеллекта в ультразвуковую диагностику и реабилитацию.

Объектом исследования являлись процессы дистанционного ультразвукового мониторинга пациентов с заболеваниями и травмами опорно-двигательного аппарата в условиях телемедицинского сопровождения.

Предметом исследования выступали методы повышения диагностической точности, воспроизводимости результатов и эффективности реабилитационных мероприятий за счёт интеграции цифровых технологий и алгоритмов искусственного интеллекта.

В рамках исследования были рассмотрены следующие направления:

1. Программно-аппаратные комплексы POCUS (Point-of-Care Ultrasound)
Анализировались портативные ультразвуковые устройства нового поколения с высоким разрешением визуализации, рабочей частотой датчиков в диапазоне 5–15 МГц и глубиной сканирования до 10–20 см. Особое внимание уделялось системам с возможностью беспроводной передачи данных и интеграции с облачными платформами, обеспечивающими дистанционную интерпретацию результатов в режиме, близком к реальному времени.
2. Алгоритмы компьютерного зрения (Computer Vision)
Рассматривались современные методы обработки медицинских изображений, основанные на применении нейросетевых моделей глубокого обучения. Оценивались возможности автоматической классификации патологических изменений, сегментации тканей и количественного анализа состояния мягких тканей, а также их влияние на точность и воспроизводимость диагностики.
3. Системы удалённого присутствия (telepresence systems)
Изучались технологии дистанционного взаимодействия специалистов, позволяющие осуществлять контроль и сопровождение ультразвукового исследования в удалённом формате. Оценивались параметры стабильности передачи данных, точность позиционирования датчика и качество визуализации, а также возможности проведения удалённых консилиумов.

Дополнительно проводился сравнительный анализ эффективности внедрения указанных технологий в клиническую практику. Оценивались показатели диагностической точности,

воспроизводимости результатов, а также влияние цифровых решений на сокращение времени обследования и повышение эффективности лечебно-реабилитационного процесса.

Результаты и обсуждения

1. Интеллектуализация и автоматизация протоколов

Современный цифровой протокол УЗИ — это не просто набор снимков, а массив данных, обработанный системой поддержки принятия врачебных решений (СППВР).

Авто-биометрия: ИИ в реальном времени рассчитывает объемные показатели (фракция выброса, объем мышц, площадь поперечного сечения нерва), снижая межоператорскую вариабельность на 30–40%.

Текстурный анализ: Оценка эхогенности и эластометрия тканей переводятся из качественных категорий («повышена», «снижена») в строгие цифровые коэффициенты, что критически важно для оценки регенерации в реабилитации.

2. Роль теле-ультразвука в дистанционной реабилитации

Теле-реабилитация часто сталкивается с проблемой «слепой зоны» — невозможностью увидеть, что происходит внутри сустава или мышцы без визита пациента в клинику. Трансформация протоколов решает эту задачу через:

Guided-POCUS: Пациент или ассистент дома использует миниатюрный датчик, а алгоритм на смартфоне дополненной реальности (AR) подсказывает, как правильно расположить датчик (система «виртуальных рук»).

Дистанционный стресс-мониторинг: Возможность оценки динамики кровотока или скольжения сухожилий в процессе выполнения реабилитационных упражнений под онлайн-контролем врача.

3. Экосистема данных и кибербезопасность

Цифровой протокол 2026 года интегрирован в «цифровой двойник» пациента.

Интероперабельность: Использование стандарта FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) позволяет данным УЗИ мгновенно сопоставляться с результатами лабораторных анализов и данными носимых устройств (смарт-часов, трекеров активности).

Блокчейн для верификации: Для исключения подмены данных в страховой медицине и теле-реабилитации протоколы защищаются технологией распределенного реестра, гарантирующей подлинность снимков.

4. Сравнительный анализ моделей диагностики

Характеристика	Традиционная модель (Аналогово-цифровая)	Современная цифровая модель (IoMT-ориентированная)
Доступность	Только в ЛПУ	Везде (Home-based, Bedside)
Интерпретация	Только врач-эксперт	Врач + ИИ-ассистент
Синхронизация	Отложенная (запись в карту)	Мгновенная (облачная ЭМК)

Обратная связь	Отсутствует в реальном времени	Интерактивное руководство сканированием
Юридический статус	Локальное заключение	Глобально верифицируемый цифровой актив

5. Обсуждение вызовов

Несмотря на очевидный прогресс, трансформация протоколов сталкивается с рядом барьеров:

- a) **Этико-правовой аспект:** Кто несет ответственность за ошибку ИИ при автоматическом расчете параметров в ходе теле-сеанса?
- b) **Технологический разрыв:** Различия в пропускной способности сетей в регионах могут ограничивать использование высокопоточкового теле-УЗИ.
- c) **Обучение кадров:** Необходимость подготовки «цифровых сонографистов», обладающих навыками как медицины, так и работы с данными (data literacy).

Заключение

Трансформация протоколов ультразвуковой диагностики в эпоху цифровой медицины знаменует переход от эпизодического наблюдения к перманентному интеллектуальному мониторингу. Интеграция УЗИ в теле-реабилитационные циклы позволяет достичь беспрецедентного уровня персонализации: программа восстановления корректируется не по ощущениям пациента, а на основе объективных морфо-функциональных изменений тканей, зафиксированных цифровым протоколом. Будущее отрасли — в создании полностью автономных систем сканирования и глобальных нейросетевых баз данных, способных предсказывать риск осложнений задолго до их клинического проявления.

Список литературы:

1. Alimdjanovich, R.J., Obid , K., Javlanovich, Y.D. and ugli, G.S.O. 2022. Advantages of Ultrasound Diagnosis of Pulmonary Pathology in COVID-19 Compared to Computed Tomography. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*. 3, 5 (Oct. 2022), 531-546.
2. Kadirov J. F. Et al. Neurological complications of aids // *Journal of new century innovations*. – 2022. – T. 10. – №. 5. – C. 174-180.
3. Yakubov D. Z., Gaybullaev S. O. The diagnostic importance of radiation diagnostic methods in determining the degree of expression of gonarthrosis // *uzbek journal of case reports*. – с. 36.
4. Ахмедов Якуб Амандуллаевич; Гайбуллаев Шерзод Обид угли; Хамидова Зиёда Абдивахобовна. Мрт в сравнении с диагностической артроскопией коленного сустава для оценки разрывов мениска. *Tadqiqotlar* 2023, 7, 105-115.
5. Gaybullaev S.O. (2024). Mri in terms of magnetic susceptibility weighted images in the differential diagnosis of primary lymphoma of the central nervous system and anaplastic

astrocytoma. Clinical observation. Boffin Academy, 2(1), 313–322. Retrieved from <https://boffin.su/index.php/journal/article/view/102>

6. Гайбуллаев Ш.О., Туранов А.Р., Химматов и.х. (2024). Современные методика МРТ диагностики при опухолях головного мозга. *Journal the Coryphaeus of Science*, 6(2), 11–15. Retrieved from <http://jtcos.ru/index.php/jtcos/article/view/257>
7. Xamidov O.A., Sharofova M.J. (2025). Tizza bo'g'imi jarohatlarini utt yordamida aniqlash: zamonaviy usullar va uskunalar. *Healthway*, 1(2), 172-179. <https://doi.org/10.64411/y5fg7m02>
8. Gaybullaev S.O., Khudoiberdieva g.m. (2025). Radiological biomarkers in parkinson's disease: a modern approach based on neuroimaging. *Healthway*, 1(2), 105-114. <https://doi.org/10.64411/aw2hqz42>
9. Умаров Ф.У., Вохидова Ф.Ф. (2025). Современные подходы к снижению лучевой нагрузки при кт- исследованиях: алгоритмы оптимизации дозы. *Healthway*, 1(3), 4-14. <https://doi.org/10.64411/hp7gwg71>
10. Yakubov D.J., Shukurova S.A. (2025). The role of ultrasound in early detection of thyroid pathology: modern criteria and classifications (tirads 2024). *Healthway*, 1(3), 15-24. <https://doi.org/10.64411/d5qc3066>
11. Аметова А.С., Бексалиева г.р. (2025). Ультразвуковая оценка печени при неалкогольной жировой болезни (нажбн): от b-режима до swe. *Healthway*, 1(3), 111-121. <https://doi.org/10.64411/3fye3y81>
12. Yakubov D.J., Akhrorov B.A. (2025). Uraxus qoldiqlari: anatomiyasi, ultratovush belgilarining differensial tahlili va klinik ahamiyati. *Healthway*, 1(3), 142-152. <https://doi.org/10.64411/f7vyk365>
13. Davranov I.I., Ergashpilotova S.X. (2025). The role of low-dose computed tomography in the early detection of lung cancer in high-risk patients. *Healthway*, 1(3), 161-171. <https://doi.org/10.64411/g4eas641>
14. Базарова С.А., Шарапов К.Ф., Рустамова Н.Б. (2025). Пренатальная ультразвуковая диагностика врождённых аномалий плода: современные тренды и стандарты. *Healthway*, 1(3), 254-262. <https://doi.org/10.64411/pjc91r92>
15. Yakubov d.j., turobov b.u., berdiqulov a.r. (2025). Osteoporoz va suyak zichligini baholashda raqamli rentgenografiya: yangi indekslar va algoritmlar. *Healthway*, 1(3), 263-271. <https://doi.org/10.64411/ztc4zs63>