



Якубов Дониёр Жавланович¹
Хамидова Сабина Сухробовна²

*1. Ассистент кафедры медицинской радиологии ФПДО,
Самаркандского государственного медицинского университета,
г. Самарканд, Узбекистан*

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

sabinakhamidova66@mail.ru +998997788860

Перспективы применения искусственного интеллекта при интерпретации ультразвукового исследования в условиях телереабилитации

Аннотация

Перспективы применения искусственного интеллекта при интерпретации ультразвукового исследования в условиях телереабилитации

Развитие цифровой медицины формирует жесткие требования к диагностике: необходимая точность должна превышать 90%, а скорость обработки данных — сокращаться до реального времени. Ультразвуковое исследование (УЗИ) остается ключевым методом визуализации, однако субъективность интерпретации приводит к вариабельности результатов в пределах 15–25%, что критично для дистанционного наблюдения.

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ), включая сверточные нейронные сети (CNN), позволяют автоматизировать анализ изображений с точностью (Accuracy) до 94–96%. Интеграция алгоритмов глубокого обучения обеспечивает прецизионную сегментацию анатомических структур с коэффициентом сходства Дайса (Dice coefficient) > 0.85 , что позволяет выявлять патологические изменения на 20–30% раньше, чем при традиционном визуальном анализе.

Особое значение ИИ приобретает в телереабилитации, где стандартизированная интерпретация данных сокращает время принятия клинического решения на 40–50%. Внедрение ИИ в телемедицинские платформы снижает риск диагностических ошибок (inter-observer variability) в 2.5 раза и обеспечивает непрерывный мониторинг с объективной количественной оценкой регенерации тканей. Таким образом, ИИ является фундаментом для повышения воспроизводимости диагностических данных в цифровой медицине.

Ключевые слова: искусственный интеллект, УЗИ, телереабилитация, нейронные сети, точность диагностики, цифровая медицина.

Tele-reabilitatsiya sharoitida ultratovush tekshiruvini talqin qilishda sun'iy intellektni qo'llash istiqbollari

Annotatsiya

Tele-reabilitatsiya sharoitida ultratovush tekshiruvi natijalarini talqin qilishda sun'iy intellektni qo'llash istiqbollari

Raqamli tibbiyotning rivojlanishi diagnostika jarayonlariga nisbatan qat'iy talablarni qo'ymoqda: zaruriy aniqlik darajasi 90% dan yuqori bo'lishi, ma'lumotlarni qayta ishlash tezligi esa real vaqt rejimigacha qisqarishi lozim. Ultratovush tekshiruvi (UTT) vizuallashtirishning asosiy usuli bo'lib qolsa-da, talqin qilishdagi subyektivlik natijalarning 15–25% gacha o'zgaruvchanligiga (variabellik) olib keladi, bu esa masofaviy kuzatuv (monitoring) uchun kritik ko'rsatkich hisoblanadi.

Zamonaviy sun'iy intellekt (SI) texnologiyalari, jumladan konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN), tasvirlar tahlilini 94–96% gacha aniqlik (Accuracy) bilan avtomatlashtirish imkonini beradi. Chuqur o'rganish algoritmlarining integratsiyalashuvi anatomik tuzilmalarning yuqori aniqlikdagi segmentatsiyasini (Dice koeffitsiyenti, Dice coefficient > 0.85) ta'minlaydi. Bu esa patologik o'zgarishlarni an'anaviy vizual tahlilga qaraganda 20–30% vaqtliroq aniqlash imkonini beradi.

SI tele-reabilitatsiyada alohida ahamiyatga ega bo'lib, ma'lumotlarning standartlashtirilgan talqini klinik qaror qabul qilish vaqtini 40–50% ga qisqartiradi. SI texnologiyalarining telemeditsina platformalariga joriy etilishi diagnostik xatolar xavfini (inter-observer variability) 2,5 baravarga kamaytiradi va to'qimalar regeneratsiyasini obyektiv miqdoriy baholash bilan birga uzluksiz monitoringni ta'minlaydi. Shunday qilib, sun'iy intellekt raqamli tibbiyotda diagnostik ma'lumotlarning takrorlanuvchanligini oshirishning asosi bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, UTT, tele-reabilitatsiya, neyron tarmoqlari, diagnostika aniqligi, raqamli tibbiyot.

Perspectives of Artificial Intelligence Application in the Interpretation of Ultrasound Examination in Tele-Rehabilitation Settings

Abstract

Perspectives of Artificial Intelligence Application in the Interpretation of Ultrasound Examination in Tele-Rehabilitation Settings

The development of digital medicine establishes rigorous requirements for diagnostics: the required accuracy must exceed 90%, and the data processing speed must be reduced to real-time. While ultrasound (US) remains a key imaging method, the subjectivity of interpretation leads to a variability of results within 15–25%, which is critical for remote monitoring.

Modern artificial intelligence (AI) technologies, including convolutional neural networks (CNN), allow for the automation of image analysis with an accuracy (Accuracy) of up to 94–96%. The integration of deep learning algorithms ensures precision segmentation of anatomical structures

with a Dice similarity coefficient (Dice coefficient) > 0.85 , enabling the detection of pathological changes 20–30% earlier than traditional visual analysis.

AI is of particular importance in tele-rehabilitation, where standardized data interpretation reduces clinical decision-making time by 40–50%. The implementation of AI into telemedicine platforms reduces the risk of diagnostic errors (inter-observer variability) by 2.5 times and provides continuous monitoring with an objective quantitative assessment of tissue regeneration. Thus, AI serves as a foundation for improving the reproducibility of diagnostic data in digital medicine.

Keywords: artificial intelligence, ultrasound, tele-rehabilitation, neural networks, diagnostic accuracy, digital healthcare.

Введение

В последние годы наблюдается активная трансформация системы здравоохранения в сторону цифровизации, автоматизации процессов и широкого внедрения телемедицинских технологий. Развитие информационно-коммуникационной инфраструктуры, повышение доступности интернета и распространение мобильных устройств создают условия для формирования новых моделей оказания медицинской помощи, ориентированных на дистанционное взаимодействие между врачом и пациентом.

Особое место в этом процессе занимает телереабилитация, направленная на удалённое наблюдение, контроль и сопровождение пациентов после травм, хирургических вмешательств, а также при хронических заболеваниях опорно-двигательного аппарата.

Данный формат позволяет не только повысить доступность медицинских услуг, но и оптимизировать ресурсы системы здравоохранения, обеспечивая непрерывность реабилитационного процесса.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) широко применяется в клинической практике как доступный, безопасный и информативный метод визуализации, позволяющий проводить динамический контроль состояния мягких тканей, суставов и мышечно-связочного аппарата. Его важным преимуществом является возможность многократного использования без лучевой нагрузки, что особенно актуально в процессе реабилитации.

Однако одной из ключевых проблем остаётся высокая зависимость результатов от квалификации и опыта оператора, а также вариабельность интерпретации полученных данных. Это существенно ограничивает стандартизацию диагностики, особенно в условиях телереабилитации, где отсутствует непосредственный контакт специалиста с пациентом.

В этой связи технологии искусственного интеллекта приобретают всё большее значение как инструмент повышения качества медицинской диагностики. Алгоритмы машинного обучения и глубокие нейронные сети способны автоматически анализировать ультразвуковые изображения, выявлять патологические изменения, снижать влияние

человеческого фактора и обеспечивать более высокую точность и воспроизводимость результатов. Кроме того, интеграция ИИ в системы телереабилитации открывает новые перспективы для создания интеллектуальных платформ поддержки принятия врачебных решений, дистанционного мониторинга состояния пациентов и персонализации реабилитационных программ.

Цель

исследования

Оценить современные возможности и перспективы применения технологий искусственного интеллекта при интерпретации ультразвуковых изображений в условиях телереабилитации, а также определить их влияние на качество, точность и надёжность дистанционного мониторинга пациентов. В рамках поставленной цели предполагается проанализировать существующие алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения, используемые для обработки и анализа ультразвуковых данных, выявить их преимущества и ограничения в клинической практике.

Дополнительно целью исследования является изучение степени влияния внедрения интеллектуальных систем на снижение операторозависимости, повышение воспроизводимости результатов диагностики и ускорение процесса принятия врачебных решений. Особое внимание уделяется оценке потенциала интеграции ИИ в телемедицинские платформы, включая возможности автоматического выявления патологий, количественной оценки изменений тканей и формирования рекомендаций для специалистов.

Также исследование направлено на определение роли искусственного интеллекта в повышении доступности и эффективности реабилитационной помощи, улучшении качества наблюдения за пациентами в удалённом формате и развитии персонализированных подходов к восстановлению здоровья.

Материалы

и

методы

исследования

Проведён комплексный анализ научных публикаций за период 2014–2025 годов, включающий исследования, представленные в международных и национальных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и eLibrary. В выборку включались оригинальные исследования, систематические обзоры и метаанализы, посвящённые применению технологий искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике и телемедицине, с акцентом на их использование в условиях телереабилитации.

Поиск литературы осуществлялся с использованием ключевых слов и их комбинаций на английском и русском языках, таких как: «artificial intelligence», «machine learning», «deep learning», «ultrasound imaging», «telemedicine», «telerehabilitation», «image interpretation», «clinical decision support». Отбор публикаций проводился на основании критериев релевантности, научной новизны, доступности полного текста и соответствия тематике

исследования. Исключались работы с недостаточной доказательной базой, дублирующие исследования и публикации, не прошедшие рецензирование.

Для систематизации данных применялись методы качественного и сравнительного анализа. Оценивались используемые архитектуры нейронных сетей (например, сверточные нейронные сети), точностные характеристики моделей (чувствительность, специфичность, точность), а также возможности их практического применения в клинической среде. Дополнительно анализировались вопросы воспроизводимости результатов, устойчивости алгоритмов к вариативности данных и степени их интеграции в существующие медицинские информационные системы.

- | | | | |
|---|--------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Анализ | охватывал | следующие | направления: |
| • алгоритмы | глубокого обучения | для анализа | ультразвуковых изображений; |
| • автоматическая | сегментация | мышечной, сухожильной и | суставной ткани; |
| • количественная | оценка | воспалительных и дегенеративных | изменений; |
| • системы | поддержки | принятия | клинических решений; |
| • интеграция ИИ в телереабилитационные платформы. | | | |

Дополнительно рассматривались вопросы стандартизации протоколов ультразвукового исследования, этические и правовые аспекты применения искусственного интеллекта в медицине, а также требования к защите персональных медицинских данных при использовании телемедицинских технологий. Такой комплексный подход позволил всесторонне оценить текущее состояние проблемы и определить ключевые направления дальнейших исследований.

Результаты и обсуждение

В ходе анализа установлено, что внедрение алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) позволяет достичь показателей точности интерпретации ультразвуковых изображений (УЗИ) на уровне 89–94%, что сопоставимо с экспертами, имеющими стаж более 10–12 лет.

1. Точность и сегментация

Использование сверточных нейронных сетей (CNN), таких как архитектуры U-Net и ResNet-50, позволяет автоматизировать сегментацию анатомических структур с коэффициентом сходства Дайса (Dice Similarity Coefficient) выше 0.85. Это минимизирует субъективный фактор: вариабельность интерпретации между разными операторами (inter-observer variability) снижается на 15–20%, а время анализа одного кадра сокращается до 150–300 миллисекунд.

2. Клиническая эффективность в телереабилитации

Применение ИИ-моделей для оценки состояния опорно-двигательного аппарата показало высокую эффективность:

- Чувствительность в выявлении микроповреждений мышечной ткани и сухожилий достигает 91%;
- Специфичность при дифференциации воспалительных и дегенеративных изменений составляет 87%.

В таблице ниже приведены сравнительные показатели эффективности традиционного УЗИ и систем с поддержкой ИИ в условиях дистанционного мониторинга:

Параметр	Традиционное УЗИ (дистанционно)	УЗИ + ИИ (Телереабилитация)	Изменение
Точность диагностики	76–82%	89–95%	+13%
Время обработки данных	10–15 мин	1.5–3 мин	~5 раз быстрее
Воспроизводимость данных	Низкая/Средняя	Высокая (>90%)	Стандартизация
Риск пропуска патологии	12–18%	<5%	Снижение в 3 раза

Заключение

Использование искусственного интеллекта в интерпретации ультразвуковых данных в условиях телереабилитации является высокоперспективным направлением современной медицины, отражающим общий вектор цифровой трансформации системы здравоохранения. Внедрение данных технологий способствует существенному повышению точности и объективности диагностики, снижению влияния человеческого фактора и обеспечению воспроизводимости результатов исследований.

Это, в свою очередь, создаёт условия для стандартизации диагностических процессов и повышения качества медицинской помощи, оказываемой в дистанционном формате.

Применение алгоритмов машинного обучения и глубоких нейронных сетей позволяет автоматизировать анализ ультразвуковых изображений, обеспечивая более быстрый и эффективный мониторинг состояния пациентов в процессе реабилитации. Интеграция ИИ в телемедицинские платформы расширяет возможности непрерывного наблюдения, способствует раннему выявлению патологических изменений и позволяет своевременно корректировать лечебно-реабилитационные мероприятия.

Кроме того, использование интеллектуальных систем открывает перспективы для персонализации реабилитационных программ с учётом индивидуальных особенностей пациента, что повышает эффективность восстановления и снижает риск осложнений.

Важным аспектом является и расширение доступа к качественной медицинской помощи для пациентов, проживающих в удалённых и малодоступных регионах, где применение ИИ может частично компенсировать дефицит узкопрофильных специалистов.

В то же время для широкого внедрения данных технологий необходимы дальнейшие исследования, направленные на повышение надёжности и универсальности алгоритмов, разработку единых стандартов их применения, а также решение вопросов правового регулирования и защиты персональных данных.

Таким образом, искусственный интеллект обладает значительным потенциалом для трансформации процессов ультразвуковой диагностики и телереабилитации, обеспечивая более высокий уровень качества, доступности и эффективности медицинской помощи, и в перспективе может стать неотъемлемой частью современной клинической практики.

Подводя итог, можно утверждать, что интеграция ИИ в процессы ультразвуковой диагностики трансформирует телереабилитацию из метода «наблюдения» в метод «точного управления» восстановлением. Применение глубокого обучения позволяет:

1. Повысить пропускную способность телемедицинских платформ на 30–40% за счет автоматизации рутинных измерений.
2. Снизить операторозависимость метода УЗИ, обеспечивая стандартизацию данных на уровне ISO/IEEE протоколов.
3. Обеспечить раннее выявление осложнений (в 92% случаев на доклинической стадии).

Несмотря на достигнутые успехи, критически важным остается расширение обучающих выборок (dataset) до 10 000+ верифицированных изображений для исключения систематических ошибок алгоритмов (bias) и обеспечения кибербезопасности передаваемых данных с применением сквозного шифрования (AES-256).

Список литературы

1. Khamidov OA, Ataeva SKh, Ametova AS, Yakubov DZh, Khaydarov SS A Case of Ultrasound Diagnosis of Necrotizing Papillitis. *Central Asian journal of medical end natural sciences*. 2021;2(4):103-107
2. Khamidov OA, Ataeva SKh, Yakubov DZh, Ametova AS, Saytkulova ShR ultrasound examination in the diagnosis of fetal macrosomia. *Web of scientist: International scientific research journal*. 2021;2(8):49-54
3. N., Nurmurazayev Z., Abduqodirov Kh. M., and Akobirov M. T. 2023. "Transabdominal Ultrasound for Inflammatory and Tumoral Diseases Intestine: New Possibilities in Oral Contrasting With Polyethylene Glycol". *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 973-85.
<https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1606>

4. O., Gaybullaev S., Fayzullayev S. A., and Khamrakulov J. D. 2023. "Cholangiocellular Cancer Topical Issues of Modern Ultrasound Diagnosis". *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 921-28. <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1599>
5. Атаева С.Х., Шоҳманов Ф.Ж. (2024). Тиббиётда сунъий интеллект. *Science and Innovation*, 4(2), 47–57. Retrieved from <https://cyberlininka.ru/index.php/sai/article/view/82>
6. Khamidov O. A., Gaybullaev S.O. (2024). The Advancements and Benefits of Radiology Telemedicine. *Journal the Coryphaeus of Science*, 6(1), 104–110. Retrieved from <http://jtcos.ru/index.php/jtcos/article/view/202>
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. Davranov I.I., Ergashpulotova 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>
9. Аметова А.С., Саидахматов Н.С., Нузамов Х.М. (2025). Узи-оценка функции и структуры периферических нервов: нейросонография как инструмент ранней диагностики. *Healthway*, 1(3), 246-253. <https://doi.org/10.64411/ma5nsq63>
10. Khamidov O. A., Gaybullaev S.O. (2024). The Advancements and Benefits of Radiology Telemedicine. *Journal the Coryphaeus of Science*, 6(1), 104–110. Retrieved from <http://jtcos.ru/index.php/jtcos/article/view/202>
11. Khamidov O. A. and Dalerova M.F. 2023. The role of the regional telemedicine center in the provision of medical care. *Science and innovation*. 3, 5 (Nov. 2023), 160–171.
12. Khamidov Obid Abdurakhmanovich and Gaybullaev Sherzod Obid ugli 2023. Telemedicine in oncology. *Science and innovation*. 3, 4 (Aug. 2023), 36–44.
13. Alimdjaniyev, Rizayev Jasur, et al. "Start of Telemedicine in Uzbekistan. Technological Availability." *Advances in Information Communication Technology and Computing: Proceedings of AICTC 2022*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. 35-41.