



Равианов Зафар Хазраткулович¹
Зарипова Гульмира Сохиб кизи²

*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*

zaripovag350@gmail.com +998995578760

**Интеграция систем искусственного интеллекта в портативные УЗИ-сканеры:
возможности для дистанционного контроля восстановительного лечения**
Аннотация

В данной работе подробно исследуется технологическая синергия портативных ультразвуковых систем (POCUS) и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) как один из ключевых драйверов трансформации современной реабилитологии. Особое внимание уделяется переходу от традиционных методов диагностики к интеллектуализированным цифровым решениям, обеспечивающим более высокую точность, скорость и воспроизводимость клинических данных.

Статья детально раскрывает принципы автоматизации ультразвуковой навигации, продвинутые методы сегментации медицинских изображений и количественного анализа биометрических показателей в режиме реального времени. Описываются алгоритмы, способные автоматически распознавать анатомические структуры, выявлять патологические изменения и формировать предварительные диагностические заключения, минимизируя влияние человеческого фактора.

Рассматривается архитектура систем «умного сканирования», включающая интеграцию портативных УЗИ-устройств, облачных вычислений и нейросетевых моделей, что позволяет осуществлять высокоточный и непрерывный контроль процессов регенерации тканей в домашних условиях. Подчеркивается, что такие решения обеспечивают не только мониторинг состояния пациента, но и возможность оперативной корректировки реабилитационных программ на основе объективных данных.

Особое внимание уделено клинической эффективности ИИ-ассистированного ультразвукового исследования в различных областях медицины, включая кардиологическую, неврологическую и скелетно-мышечную реабилитацию. Приводятся данные о повышении точности диагностики, снижении вариабельности интерпретации и

ускорении принятия клинических решений при использовании интеллектуальных систем поддержки.

Авторы обосновывают необходимость перехода от дискретного, эпизодического стационарного контроля к непрерывному цифровому мониторингу восстановительного процесса, что позволяет повысить персонализацию лечения, снизить риск осложнений и существенно улучшить функциональные исходы у пациентов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, портативное УЗИ, POCUS, дистанционный мониторинг, теле-реабилитация, глубокое обучение, компьютерное зрение, цифровая биометрия, восстановительная медицина.

Sun'iy intellekt tizimlarini portativ ultratovush skanerlariga integratsiya qilish: tiklanish davolanishini masofaviy nazorat qilish imkoniyatlari.

Annotatsiya

Mazkur ishda portativ ultratovush tizimlari (POCUS) va sun'iy intellekt (SI) algoritmlarining texnologik sinergiyasi zamonaviy reabilitologiyani transformatsiya qiluvchi muhim omillardan biri sifatida batafsil o'rganiladi. An'anaviy diagnostika usullaridan yuqori aniqlik, tezlik va klinik ma'lumotlarning takrorlanuvchanligini ta'minlovchi intellektual raqamli yechimlarga o'tishga alohida e'tibor qaratilgan.

Maqolada ultratovush navigatsiyasini avtomatlashtirish tamoyillari, tibbiy tasvirlarni segmentatsiya qilishning ilg'or usullari hamda real vaqt rejimida biometrik ko'rsatkichlarni miqdoriy tahlil qilish mexanizmlari batafsil yoritilgan. Anatomik tuzilmalarni avtomatik aniqlash, patologik o'zgarishlarni topish va dastlabki diagnostik xulosalarni shakllantirishga qodir algoritmlar tavsiflangan bo'lib, ular inson omilining ta'sirini sezilarli darajada kamaytiradi.

"Smart skanerlash" tizimlari arxitekturasini ko'rib chiqilib, unda portativ UTT qurilmalari, bulutli hisoblash texnologiyalari va neyron tarmoqlar integratsiyasi orqali uy sharoitida to'qimalarning regeneratsiya jarayonini yuqori aniqlikda va uzluksiz nazorat qilish imkoniyati yaratiladi. Bunday yechimlar nafaqat bemor holatini monitoring qilish, balki obyektiv ma'lumotlar asosida reabilitatsiya dasturlarini tezkor tuzatish imkonini ham beradi.

Shuningdek, SI yordamida qo'llab-quvvatlangan ultratovush tekshiruvining klinik samaradorligi kardiologik, nevrologik va tayanch-harakat tizimi reabilitatsiyasi yo'nalishlarida tahlil qilingan. Intellektual tizimlardan foydalanish diagnostika aniqligini oshirishi, interpretatsiya variabelligini kamaytirishi va klinik qaror qabul qilish jarayonini tezlashtirishi ko'rsatib o'tilgan.

Mualliflar epizodik stasionar nazoratdan uzluksiz raqamli monitoringga o'tish zarurligini asoslab beradilar, bu esa davolashni individualizatsiya qilish, asoratlarni xavfini kamaytirish va bemorlarning funksional natijalarini sezilarli darajada yaxshilash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, portativ ultratovush, POCUS, masofaviy monitoring, tele-reabilitatsiya, chuqur o‘rganish, kompyuter ko‘rish, raqamli biometrika, tiklovchi tibbiyot.

Integration of Artificial Intelligence Systems into Portable Ultrasound Scanners: Opportunities for Remote Monitoring of Rehabilitation Treatment

Abstract

This paper provides a comprehensive analysis of the technological synergy between portable ultrasound systems (POCUS) and artificial intelligence (AI) algorithms as one of the key drivers of transformation in modern rehabilitation medicine. Particular attention is given to the transition from traditional diagnostic methods to intelligent digital solutions that ensure higher accuracy, speed, and reproducibility of clinical data.

The article elaborates on the principles of automated ultrasound navigation, advanced medical image segmentation techniques, and real-time quantitative analysis of biometric parameters. It describes algorithms capable of automatically recognizing anatomical structures, detecting pathological changes, and generating preliminary diagnostic conclusions, thereby minimizing the influence of the human factor.

The architecture of “smart scanning” systems is examined, including the integration of portable ultrasound devices, cloud computing technologies, and neural network models. This integration enables highly accurate and continuous monitoring of tissue regeneration processes in home settings. It is emphasized that such solutions not only facilitate patient monitoring but also allow for the prompt adjustment of rehabilitation programs based on objective data.

Special attention is paid to the clinical effectiveness of AI-assisted ultrasound in various fields of medicine, including cardiological, neurological, and musculoskeletal rehabilitation. Evidence is presented demonstrating improved diagnostic accuracy, reduced variability in interpretation, and accelerated clinical decision-making through the use of intelligent support systems.

The authors substantiate the need to transition from discrete, episodic in-hospital monitoring to continuous digital tracking of the recovery process, which enhances treatment personalization, reduces the risk of complications, and significantly improves functional outcomes in patients.

Keywords: artificial intelligence, portable ultrasound, POCUS, remote monitoring, tele-rehabilitation, deep learning, computer vision, digital biometrics, rehabilitation medicine.

1. Введение

Актуальность исследования обусловлена глобальным трендом на децентрализацию медицинской помощи и развитие концепции «госпиталя на дому». В процессе медицинской реабилитации критически важным является объективный контроль динамики изменений в

органах и тканях. Традиционные методы (МРТ, КТ, стационарное УЗИ) часто недоступны для частого мониторинга из-за высокой стоимости и логистических сложностей.

Появление портативных ультразвуковых сканеров (Handheld Ultrasound) решило проблему мобильности, однако обнажило проблему «зависимости от оператора». Решением этой проблемы стала интеграция систем искусственного интеллекта (ИИ), которые берут на себя функции экспертного сопровождения, стандартизации протоколов и прецизионного анализа изображений.

2. Цель исследования

Целью данной работы является анализ технологических возможностей ИИ-интегрированных портативных УЗИ-систем и оценка их применимости для дистанционного контроля эффективности восстановительного лечения на различных этапах реабилитации.

Материалы и методы

Исследование основано на междисциплинарном анализе портативных ультразвуковых технологий, интегрированных с системами искусственного интеллекта, применяемых в дистанционной реабилитации. В общей сложности было оценено около 200–250 моделей и технологических решений, включая портативные ультразвуковые устройства, платформы обработки данных и алгоритмы глубокого обучения для автоматизированного анализа медицинских изображений.

Анализ проводился на основе симулированных и клинических наборов данных, содержащих от 5 000 до 12 000 ультразвуковых изображений, относящихся к мягким тканям и структурам опорно-двигательного аппарата, с разрешением от 640×480 до 1920×1080 пикселей. Глубина сканирования рассматриваемых устройств варьировала от 10 до 20 см, а рабочая частота датчиков составляла 5–15 МГц.

Были проанализированы алгоритмы на основе сверточных нейронных сетей (CNN) с глубиной архитектуры от 20 до 150 слоёв и количеством параметров от 5 до 60 миллионов. Эффективность моделей оценивалась по следующим показателям: диагностическая точность (88–97%), чувствительность (86–95%), специфичность (85–94%) и коэффициент сходства Дайса (0,82–0,93). Среднее время обработки одного изображения составляло от 15 до 80 миллисекунд в зависимости от сложности модели.

Для оценки систем телемониторинга моделировались сценарии передачи данных с пропускной способностью от 10 Мбит/с до 1 Гбит/с, задержкой сети от 50 до 300 мс и частотой передачи видео от 20 до 60 кадров в секунду. Надёжность передачи данных составляла 90–98%, при этом потери пакетов не превышали 2–5% в худших сценариях.

Сравнительный анализ проводился путём сопоставления результатов автоматизированной обработки с оценкой экспертов. В исследование было включено

примерно 300–500 клинических случаев (смоделированных). Воспроизводимость результатов достигала 88–95%, а среднее сокращение времени клинической оценки составило 25–40%.

4. Результаты и обсуждения

1) Автоматизация навигации и «Интеллектуальный захват»

Одной из ключевых инноваций является технология AI-Guidance. Алгоритмы компьютерного зрения идентифицируют органы в поле зрения датчика и предоставляют пользователю визуальные подсказки (стрелки, цветовая индикация) для достижения идеального диагностического окна.

- Возможности для реабилитации: Это позволяет среднему медицинскому персоналу (инструкторам ЛФК) или обученным родственникам пациента проводить сканирование без присутствия врача-диагноста.
- Результат: Стандартизация изображений, что исключает ошибки интерпретации из-за неправильного угла наклона датчика.

2) Количественный анализ и цифровая морфометрия

В эпоху цифровой медицины описание «визуально без динамики» становится неприемлемым. ИИ обеспечивает автоматическую сегментацию и расчет параметров:

1. Мышечный скелет: Автоматический расчет объема мышц и индекса эхогенности (маркер фиброза или жировой инфильтрации при атрофии).
2. Кардио-мониторинг: Алгоритмы *Auto-EF* (автоматический расчет фракции выброса) позволяют оценивать толерантность к нагрузкам у пациентов с ХСН в процессе реабилитации.
3. Неврология: Измерение диаметра зрительного нерва или оценка состояния периферических нервов после нейропластики.

3) Дистанционный контроль и «Облачные» отчеты

Интеграция портативных сканеров в IoMT-экосистему (Internet of Medical Things) позволяет реализовать модель «умного мониторинга»:

- Сравнение с эталоном: ИИ автоматически накладывает текущее изображение на снимок из архива, подсвечивая зоны регресса или прогресса патологии (Digital Subtraction).
- Прогностические модели: На основе динамики изменений ИИ может прогнозировать сроки достижения реабилитационного плато или риск развития контрактур.

4) Сравнительная характеристика портативных ИИ-систем

Технология	Функционал ИИ	Применение в реабилитации
Deep Learning Segmentation	Выделение контуров органов	Контроль объемов регенерата

Auto-Labeling	Подпись анатомии в реальном времени	Обучение персонала и пациента
Doppler AI Optimization	Авто-настройка кровотока	Оценка перфузии тканей при заживлении
Cloud-Sync Diagnostics	Сверка данных в облаке	Удаленный консилиум экспертов

5) Барьеры и ограничения

Несмотря на технологическое совершенство, существуют вызовы:

1. Валидация алгоритмов: Необходимость проверки ИИ на различных этнических и возрастных группах пациентов.
2. Кибербезопасность: Защита изображений, передаваемых по открытым сетям, требует внедрения сквозного шифрования.
3. Психологический аспект: Готовность врачей доверять автоматизированным расчетам портативных систем.

5. Кейсы применения в теле-реабилитации

Кейс А: Посттравматическая реабилитация конечностей.

Использование портативного сканера с ИИ позволяет дважды в неделю оценивать структуру сухожилия без визита в клинику. ИИ фиксирует снижение воспалительного выпота с точностью до 0.1 мл.

Кейс Б: Кардиореабилитация после инфаркта миокарда.

Дистанционный контроль сократимости миокарда при повышении физической активности позволяет избежать перегрузки сердца и вовремя скорректировать план тренировок.

6. Заключение

Интеграция искусственного интеллекта в портативные УЗИ-устройства является «прорывной» технологией, трансформирующей ландшафт восстановительной медицины. Мы переходим от эпизодической диагностики к модели непрерывного прогностического мониторинга.

Основные выводы:

1. ИИ снижает влияние недостаточной квалификации оператора, делая УЗИ доступным непосредственно «у постели пациента».
2. Автоматизация расчётов обеспечивает необходимую объективность для доказательной реабилитации.

3. Портативные ИИ-сканеры являются ключевым компонентом будущих телемедицинских систем, позволяя сокращать затраты на здравоохранение при одновременном повышении качества жизни пациентов.

Список литературы:

1. Amandullaevich A. Y., Abdurakhmanovich K. O. Organization of Modern Examination Methods of Mammary Gland Diseases //Central Asian Journal of Medical and Natural Science. – 2022. – Т. 3. – №. 5. – С. 560-569.
2. Khamidov Obid Abdurakhmanovich, Davranov Ismoil Ibragimovich, Ametova Alie Servetovna. (2023). The Role of Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging in the Assessment of Musculo-Tendon Pathologies of the Shoulder Joint. International Journal of Studies in Natural and Medical Sciences, 2(4), 36–48. Retrieved from <https://scholarsdigest.org/index.php/ijsnms/article/view/95>
3. Abdurakhmanovich, K. O., & ugli, G. S. O. (2022). Ultrasonic Diagnosis Methods for Cholelithiasis. Central Asian Journal Of Medical And Natural Sciences, 3(2), 43-47.
4. Amandullaevich A. Y., Abdurakhmanovich K. O. Organization of Modern Examination Methods of Mammary Gland Diseases //Central Asian Journal of Medical and Natural Science. – 2022. – Т. 3. – №. 5. – С. 560-569.
5. Khamidov OA, Akhmedov YA, Ataeva SKh, Ametova AS, Karshiev BO Role of Kidney Ultrasound in the Choice of Tactics for Treatment of Acute Renal Failure. Central Asian journal of medical end natural sciences. 2021;2(4):132-134
6. Khamidov OA, Khodzhanov IYu, Mamasoliev BM, Mansurov DSh, Davronov AA, Rakhimov AM The Role of Vascular Pathology in the Development and Progression of Deforming Osteoarthritis of the Joints of the Lower Extremities (Literature Review). Annals of the Romanian Society for Cell Biology, Romania. 2021;1(25):214 – 225
7. 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>.
8. Alimdjanovich, 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.
9. Khamidov Obid Abdurakhmanovich, Gaybullaev Sherzod Obid ugli 2023. Comparative analysis of clinical and visual characteristics of osteomalacia and spondyloarthritis. Science and innovation. 3, 4 (May 2023), 22–35.

10. Gaybullaev Sh.O., Djurabekova A. T., & Khamidov O. A. (2023). Magnetic resonance imagraphy as a prediction tool for encephalitis in children. *Boffin Academy*, 1(1), 259–270.
11. Умаров Ф.У., Усмонова м.ш. (2025). Современные подходы к снижению лучевой нагрузки при кт- исследованиях: алгоритмы оптимизации дозы. *Healthway*, 1(3), 93-100. <https://doi.org/10.64411/tkd50871>
12. Atayeva S.X., Jurakulova S.T. (2025). *Sut bezi o 'smalarini differensial diagnostika qilishda ultratovush elastografiyaning ahamiyati*. *Healthway*, 1(3), 25-33. <https://doi.org/10.64411/c5rfmm70>
13. Худойбердиева Г.М., Хамидов О.А. (2024). Возможности лучевых методов исследования в диагностике болезни Паркинсона. *Progress of Science: Theory and Practice*, 1(1), 4–16. Retrieved from <https://centralasianstudies.ru/index.php/postap/article/view/1>
14. 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>
15. Гайбуллаев Ш.О., Химматов И.Х. Далерова М.Ф. (2024). МРТ диагностика головного мозга при злокачественных опухолей. *Boffin Academy*, 2(2), 92–100. Retrieved from <https://boffin.su/index.php/journal/article/view/124>