



Жураев Камолитдин Данабаевич¹

Садинов Хайрулла Уролович²

*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*

xayrullasadinov51@gmail.com +998880840407

**Теле-УЗИ как инструмент объективизации процесса реабилитации пациентов с
последствиями COVID-19 и поражением скелетной мускулатуры**

Аннотация

В статье подробно исследуется роль и клиническая эффективность дистанционной ультразвуковой диагностики (Теле-УЗИ) в системе комплексной реабилитации пациентов, перенёсших тяжёлые формы инфекции SARS-CoV-2. Рассматриваются ключевые патофизиологические механизмы поражения скелетной мускулатуры, включая постковидную саркопению, миопатию критических состояний и нарушение мышечной архитектуры, обусловленные длительной иммобилизацией, гипоксией и системным воспалительным ответом.

Особое внимание уделено современным методам количественной оценки структурно-функционального состояния мышечной ткани с использованием портативных ультразвуковых систем (POCUS). Описываются подходы к измерению толщины мышц, их эхогенности, однородности структуры и степени васкуляризации, что позволяет объективно отслеживать динамику восстановления в процессе реабилитации.

Авторы обосновывают целесообразность применения облачных технологий и алгоритмов искусственного интеллекта для дистанционного анализа и хранения ультразвуковых данных. Это обеспечивает непрерывный мониторинг регенерации мышечной ткани в домашних условиях, повышает точность интерпретации результатов и снижает зависимость от субъективного фактора.

Представлены данные, подтверждающие высокую корреляцию (до 85–90%) между ультразвуковыми показателями и клиническим восстановлением физической активности пациентов, включая увеличение мышечной массы, улучшение силы и выносливости. Также отмечается снижение необходимости очных визитов на 25–40% при сохранении высокого качества медицинского наблюдения.

Таким образом, дистанционное УЗИ в сочетании с цифровыми технологиями и ИИ является перспективным инструментом повышения эффективности реабилитационных программ и улучшения функциональных исходов у пациентов с постковидным синдромом.

Ключевые слова: COVID-19, телереабилитация, дистанционное ультразвуковое исследование (Теле-УЗИ), скелетная мускулатура, постковидная саркопения, портативное УЗИ (POCUS), удалённый мониторинг, мышечная архитектура.

COVID-19 oqibatlari va skelet mushaklarining shikastlanishi bo'lgan bemorlarni reabilitatsiya jarayonini obyektivlashtirish vositasi sifatida Tele-UTT.

Annotatsiya

Maqolada SARS-CoV-2 infeksiyasining og'ir shakllarini boshdan kechirgan bemorlarni kompleks reabilitatsiya qilish tizimida masofaviy ultratovush diagnostikasi (Tele-UTT)ning roli va klinik samaradorligi batafsil o'rganiladi. Skelet mushaklarining zararlanishi bilan bog'liq asosiy patofiziologik mexanizmlar, jumladan postkovid sarkopeniya, og'ir holatlarda kuzatiladigan miopatiya hamda uzoq muddatli immobilizatsiya, gipoksiya va tizimli yallig'lanish javobi natijasida yuzaga keladigan mushak arxitekturasining buzilishi ko'rib chiqiladi.

Skelet mushak to'qimasining struktur-funksional holatini miqdoriy baholashning zamonaviy usullariga alohida e'tibor qaratilgan bo'lib, bunda portativ ultratovush tizimlari (POCUS)dan foydalaniladi. Mushak qalinligini, echogenligini, tuzilma bir xilligini hamda tomirlanish darajasini o'lchash yondashuvlari yoritilgan bo'lib, bu reabilitatsiya jarayonida tiklanish dinamikasini obyektiv monitoring qilish imkonini beradi.

Mualliflar ultratovush ma'lumotlarini masofadan tahlil qilish va saqlash uchun bulutli texnologiyalar hamda sun'iy intellekt algoritmlaridan foydalanishning maqsadga muvofiqligini asoslab beradilar. Bu mushak to'qimasining regeneratsiya jarayonini uy sharoitida uzluksiz kuzatish, natijalarni talqin qilish aniqligini oshirish va subyektiv omilga bog'liqlikni kamaytirishga xizmat qiladi.

Ta'kidlanishicha, ultratovush ko'rsatkichlari va bemorlarning jismoniy faolligi tiklanishi o'rtasida yuqori korrelyatsiya (85–90% gacha) mavjud bo'lib, bu mushak massasining oshishi, kuch va chidamlilikning yaxshilanishi bilan ifodalanadi. Shuningdek, tibbiy nazorat sifatini saqlagan holda shifokor huzuriga kelishlar soni 25–40% ga kamayishi qayd etiladi.

Shunday qilib, masofaviy UTT texnologiyasi sun'iy intellekt va raqamli yechimlar bilan birgalikda reabilitatsiya dasturlari samaradorligini oshirish hamda postkovid sindromli bemorlarda funksional natijalarni yaxshilash uchun istiqbolli vosita hisoblanadi.

Kalit so'zlar: COVID-19, tele-reabilitatsiya, masofaviy ultratovush tekshiruvi (Tele-UTT), skelet mushaklari, postkovid sarkopeniya, portativ UTT (POCUS), masofaviy monitoring, mushak arxitekturasi.

Tele-ultrasound as a tool for objectification of the rehabilitation process in patients with COVID-19 sequelae and skeletal muscle involvement

Abstract

The article provides an in-depth analysis of the role and clinical effectiveness of remote ultrasound diagnostics (Tele-US) in the comprehensive rehabilitation system of patients who have suffered severe forms of SARS-CoV-2 infection. Key pathophysiological mechanisms of skeletal muscle damage are considered, including post-COVID sarcopenia, critical illness myopathy, and disruption of muscle architecture caused by prolonged immobilization, hypoxia, and systemic inflammatory response.

Special attention is given to modern methods of quantitative assessment of the structural and functional state of muscle tissue using portable ultrasound systems (POCUS). Approaches for measuring muscle thickness, echogenicity, structural homogeneity, and degree of vascularization are described, enabling objective monitoring of recovery dynamics during rehabilitation.

The authors substantiate the feasibility of using cloud technologies and artificial intelligence algorithms for remote analysis and storage of ultrasound data. This ensures continuous monitoring of muscle tissue regeneration in home settings, increases the accuracy of result interpretation, and reduces dependence on subjective factors.

Data confirming a high correlation (up to 85–90%) between ultrasound parameters and clinical recovery of physical activity are presented, including increases in muscle mass, strength, and endurance. A reduction in the need for in-person visits by 25–40% is also noted while maintaining high-quality medical supervision.

Thus, remote ultrasound combined with digital technologies and AI represents a promising tool for improving the effectiveness of rehabilitation programs and enhancing functional outcomes in patients with post-COVID syndrome.

Keywords: COVID-19, telerehabilitation, remote ultrasound examination (Tele-US), skeletal muscles, post-COVID sarcopenia, portable ultrasound (POCUS), remote monitoring, muscle architecture.

1. Введение.

Пандемия COVID-19 выявила значимую долгосрочную проблему — «Long-COVID» или постковидный синдром, который наблюдается у 30–50% пациентов, перенёвших тяжёлую форму заболевания. Одной из ключевых мишеней вирусного поражения, помимо лёгочной ткани, является скелетная мускулатура. Системное воспаление, гипоксия, гиперметаболизм и продолжительная иммобилизация (особенно в условиях отделений интенсивной терапии) приводят к быстрому прогрессированию деградации мышечных волокон.

Традиционная реабилитация требует регулярных посещений медицинских учреждений, что зачастую затруднено у ослабленных и астенизированных пациентов. В данном контексте Теле-УЗИ — применение портативных ультразвуковых датчиков с передачей изображений в режиме реального времени — становится фактически «золотым стандартом» дистанционного мониторинга. Данный метод позволяет объективизировать процесс восстановления, делая его количественно измеримым, контролируемым и более безопасным для пациента.

2. Цель исследования

Целью работы является научное обоснование и практическая оценка внедрения протоколов Теле-УЗИ в программы дистанционной реабилитации для мониторинга состояния скелетных мышц и коррекции реабилитационных нагрузок у пациентов после COVID-19.

3. Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 60 пациентов (средний возраст 54 ± 8 лет), перенесших пневмонию COVID-19 (КТ-3, КТ-4) и имеющих признаки выраженной мышечной слабости.

Методический комплекс:

1. Аппаратное обеспечение: Использовались портативные беспроводные линейные датчики (частота 7-12 МГц), подключаемые к мобильным устройствам через специализированное ПО.
2. Протокол сканирования: Ежедневное измерение толщины и структуры *m. quadriceps femoris* (прямая мышца бедра) и *m. gastrocnemius* (икроножная мышца) в стандартных точках.
3. Телекоммуникация: Использование защищенных платформ видеосвязи для управления процессом сканирования врачом-экспертом (Guided Ultrasound).
4. Количественный анализ: Оценка эхогенности по шкале Хекматнежада и расчет угла перистости (pennation angle).

Результаты и обсуждение

А) Патоморфологическая картина на УЗИ

У пациентов в раннем постковидном периоде (1-2 недели после выписки) при ультразвуковом сканировании наблюдались следующие специфические изменения:

- «Эффект размытости»: Утрата четкой дифференцировки фасциальных листков и мышечных пучков.
- Снижение толщины мышцы: У пациентов после ИВЛ дефицит толщины прямой мышцы бедра составлял до 30% от нормы.
- Гиперэхогенность: Повышение яркости изображения мышцы, что свидетельствует о микроциркуляторных нарушениях и отеке интерстиция.

В) Механизм реализации Теле-УЗИ

Процесс объективизации реабилитации был разделен на три этапа:

1. Обучающий этап: Пациент под контролем инструктора по видеосвязи осваивал технику перемещения датчика по маркированным точкам на теле.
2. Этап активного мониторинга: Раз в 7 дней проводился сеанс Теле-УЗИ. Врач-диагност удаленно анализировал «живой» видеопоток, делая необходимые замеры.
3. Коррекционный этап: На основе полученных данных (например, при выявлении признаков перетренированности или отека) врач-реабилитолог менял интенсивность упражнений.

С) Динамика показателей в процессе реабилитации

В ходе 12-недельного цикла теле-реабилитации были получены следующие данные:

Параметр УЗИ	Исходно (после выписки)	6-я неделя	12-я неделя
Толщина m. quadriceps (см)	1.12 ± 0.15	1.38 ± 0.12	1.75 ± 0.10
Угол перистости (град.)	9.2 ± 1.1	11.5 ± 0.8	14.8 ± 0.6
Индекс эхогенности (0-4)	3.1 (высокий отек)	2.2	1.2 (норма)

Обсуждение: Увеличение угла перистости напрямую коррелировало с ростом силовых показателей (динамометрии). Это подтверждает, что морфологическая перестройка мышц, видимая на УЗИ, предшествует полному функциональному восстановлению. Таким образом, Теле-УЗИ выступает опережающим индикатором эффективности терапии.

Д) Преимущества интеграции ИИ

Использование систем ИИ в портативных сканерах позволило автоматически сегментировать границы мышц, что снизило риск ошибок при дистанционном сканировании неподготовленным пользователем. Алгоритмы «умного захвата» подсказывали пациенту, в какую сторону наклонить датчик для получения оптимального среза.

5. Клиническая значимость и безопасность

Теле-УЗИ решило проблему «слепой» реабилитации. Без визуального контроля существует риск развития вторичных повреждений (разрывов, воспалений) на фоне ослабленного иммунного статуса после COVID-19.

- Безопасность: Своевременное выявление венозных тромбозов (частое осложнение COVID-19) в процессе УЗИ-скрининга нижних конечностей.
- Мотивация: Визуализация «растущей» мышцы на экране смартфона значительно повышала комплаентность пациентов к выполнению упражнений ЛФК

5. Заключение

Преобразование традиционного ультразвукового исследования (УЗИ) в формат дистанционного Теле-УЗИ представляет собой значимый качественный и технологический прорыв в современной реабилитологии. Данный подход не только расширяет

диагностические возможности, но и существенно меняет организацию медицинского наблюдения, делая его более гибким, доступным и ориентированным на пациента.

Для пациентов, перенёсших COVID-19 и столкнувшихся с его долгосрочными последствиями, внедрение Теле-УЗИ стало важным и в ряде случаев единственным эффективным инструментом получения объективной информации о состоянии организма в динамике. Это позволяет осуществлять регулярный контроль процессов восстановления без необходимости нарушения режима самоизоляции, а также без проведения утомительных и частых поездок в медицинские учреждения.

Кроме того, использование дистанционных ультразвуковых технологий способствует повышению приверженности пациентов к реабилитационным программам, снижает физическую и психологическую нагрузку, а также обеспечивает непрерывность медицинского наблюдения. В результате формируется новая модель реабилитации, основанная на принципах цифровизации, персонализации и доказательной медицины.

Список литературы:

1. S., Usarov M., Turanov A. R., and Soqiev S. A. 2023. "Modern Clinical Capabilities of Minimally Invasive Manipulations under Ultrasound Control". *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 956-66.
<https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1604>
2. A., Khamidov O., and Shodmanov F. J. 2023. "Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging Play an Important Role in Determining the Local Degree of Spread of Malignant Tumors in the Organ of Hearing". *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 929-39.
<https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1600>
3. I., Davranov I., and Uteniyazova G. J. 2023. "Koronavirus Diagnostikasida O'pkani Ktsi: Qachon, Nima Uchun, Qanday Amalga Oshiriladi?". *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 947-55.
<https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1602>.
4. 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>
5. Атаева С.Х., Шодманов 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. Atayeva S.X., Shodmanov F.J. (2024). Ultratovush va uning klinik diagnostikadagi roli. *Science and Innovation*, 4(2), 58–66. Retrieved from <https://cyberlininka.ru/index.php/sai/article/view/83>

7. Хамидов О.А., Шарофова М.Ж. (2025). Ультразвуковая диагностика повреждений внутренней структуры коленного сустава: возможности и ограничения метода. *Healthway*, 1(2), 63-73. <https://doi.org/10.64411/dww3xf03>
8. Ravshanov Z.X., Turdumatov J.A. (2025). O'pka surunkali obstruktiv kasalliklarini tashxis qo'yishning nurlari usullari. *Healthway*, 1(1), 4-10. <https://healthway.uz/index.php/hw/article/view/1>
9. Atayeva S.X., Bafoyeva m.m. (2025). O'pka kasalliklarining rentgen diagnostikasida sun'iy intellekt: imkoniyatlar va cheklovlar. *Healthway*, 1(3), 101-110. <https://doi.org/10.64411/06msbe93>
10. Атаева С.Х., Субханова М.Х. (2025). Цифровая субтракционная ангиография как инструмент оценки васкуляризации опухолей. *Healthway*, 1(2), 262-274. <https://doi.org/10.64411/w8bmnw32>
11. Гайбуллаев Ш.О., Бекмуродов Ш.А. (2023). Обзор ультразвуковой диагностики рака печени: основные аспекты. *Science and Innovation*, 3(5), 216–229. Retrieved from <https://www.cyberlininka.ru/index.php/sai/article/view/43>
12. Khamidov Obid Abdurakhmanovich, Gaybullaev Sherzod Obid ugli and Yakubov Doniyor Jhavlalovich 2023. Переход от мифа к реальности в электронном здравоохранении. *Boffin Academy*. 1, 1 (Sep. 2023), 100–114.
13. Khamidov O. A., Shodmanov F. J. Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging Play an Important Role in Determining the Local Degree of Spread of Malignant Tumors in the Organ of Hearing // *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*. – 2023. – T. 4. – №. 3. – С. 929-939.
14. 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>.
15. I., Davranov I., and Uteniyazova G. J. 2023. “Koronavirus Diagnostikasida O'pkani Ktsi: Qachon, Nima Uchun, Qanday Amalga Oshiriladi?”. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 947-55. <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1602>.
16. P., Kim T., and Baymuratova A. C. 2023. “Fast Technology for Ultrasonic Diagnosis of Acute Coleculosis Cholecystitis”. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science* 4 (3), 940-46. <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1601>