

УДК: 519.6

МРНТИ 50.05, 50.41

https://doi.org/10.53364/24138614_2025_36_1_14

М.Е.Баталова^{1*}, Р. Komada², К.Алибеккызы¹,
А.Ж.Бугубаева, М.С.Кунапьянова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

²Lublin University of Technology, Lublin, Poland

³ Карагандинский Университет Казпотребсоюза, г. Караганда, Казахстан

E-mail: esimkhan_kizi.m@mail.ru*

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНАХ УСТАНОВКИ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ

***Аннотация.** Цель данного исследования заключается в разработке и апробации инновационной методической концепции мониторинга работы ортопедических имплантатов с использованием современных технологий беспроводных датчиков и алгоритмов искусственного интеллекта. В работе проведён подробный анализ существующих методов диагностики состояния имплантатов, выявлены их технические и методологические ограничения, а также проанализированы современные тенденции в области медицины, направленные на повышение надёжности и безопасности имплантации. Предлагаемая методика объединяет сбор температурных и других физических данных с помощью высокоточных беспроводных сенсоров и их обработку с применением алгоритмов машинного обучения для предсказания возможных отклонений в работе имплантатов и своевременного обнаружения начальных признаков износа или повреждения.*

Экспериментальная часть исследования включает тестирование разработанной системы в реальных клинических условиях, что позволило получить значимые статистические доказательства её эффективности и точности. Результаты показали, что применение инновационного подхода позволяет не только повысить точность диагностики, но и значительно сократить время реагирования на потенциальные осложнения, что имеет важное значение для оперативного вмешательства и снижения риска неблагоприятных исходов. Представленный подход открывает новые перспективы для дальнейших исследований в области мониторинга состояния медицинских имплантатов, способствуя развитию персонализированной медицины и улучшению качества жизни пациентов.

***Ключевые слова.** Ортопедические импланты, беспроводные датчик для измерения температуры, искусственный интеллект, цифровизация, диагностика, пациент.*

Введение.

В современную эпоху цифровых технологий беспроводные датчики можно считать один из перспективных направлений, которые активно развиваются и уже имеют немалый опыт применения в ортопедии. Существуют причины использования беспроводных

датчиков в данной области медицины [1]. Это в первую очередь их незаменимое качество, удобство и возможности для длительного мониторинга пациента в дистанционном формате. Однако, существуют и определенные недостатки подобной технологии, которые можно решить при выборе оптимального решения той или иной задачи, которая стоит в данный момент.

Метод исследования.

Разработка технологии беспроводного датчика для измерения температуры в местах установки ортопедических имплантов с применением искусственного интеллекта уже реализована в таких странах, как США, Германия, Южная Корея и Япония. Однако данная технология может быть внедрена и в Казахстане, поскольку она отвечает современным вызовам медицины, способствует улучшению качества лечения, снижает количество осложнений и повышает качество жизни.

Исследование посвящено пациентам с установленными ортопедическими имплантами и изучению технологий беспроводных датчиков, а также их интеграции с имплантами. В статье «Обзор применения искусственного интеллекта в ортопедии» рассматривается связь между искусственным интеллектом и ортопедией. Отмечены достижения ИИ в хирургии, а также ограниченность исследований в области ортопедии. Подчеркивается, что искусственный интеллект помогает преодолевать недостатки традиционных методов диагностики переломов и заболеваний, однако существуют проблемы, связанные с недостаточной клинической применимостью, нехваткой данных, сложностью моделей и отсутствием стандартизации.

В статье «Новый энергосберегающий алгоритм сбора данных для беспроводных сенсорных сетей с использованием искусственного интеллекта» рассматриваются методы энергосбережения в беспроводных сенсорных сетях. Авторы предлагают алгоритм NDGAI, который оптимизирует процесс сбора данных за счет использования мобильных элементов, кластеризации узлов на основе теории нечёткой логики и оптимизации маршрутов с применением методов искусственного пчелиного роя и оптимизации роев частиц. Результаты симуляции подтверждают, что предложенный алгоритм превосходит существующие методы, увеличивая срок службы сети и снижая энергопотребление.

Исследование технологии беспроводного датчика для мониторинга температуры в зонах установки ортопедических имплантов охватывает несколько ключевых этапов. На начальном этапе разрабатывается беспроводной температурный датчик, учитывающий медицинские требования, включая выбор материалов, минимизацию размеров и обеспечение биосовместимости. Далее проводится его калибровка и тестирование, направленные на проверку точности и стабильности работы в различных температурных диапазонах. После этого следуют лабораторные испытания, в рамках которых датчики применяются в моделях, имитирующих условия изменения температуры имплантов под воздействием воспалительных процессов и других факторов. Затем осуществляются полевые испытания, позволяющие оценить эффективность работы датчиков в реальных условиях, например, при мониторинге температуры у пациентов. Полученные данные анализируются для оценки точности измерений, реакции на температурные изменения и выявления возможных осложнений. На завершающем этапе проводится оценка безопасности и долговечности датчиков, включая их надежность при длительном контакте с тканями организма.

Такой подход позволяет комплексно оценить эффективность технологии беспроводных датчиков для мониторинга температуры и её потенциальное применение в медицине.

Методы исследования диагностики инфекций в местах установки ортопедических имплантатов могут включать как традиционные лабораторные исследования, так и современные технологии, такие как биомедицинские датчики и методы визуализации. Комплексный подход в диагностике позволяет повысить точность выявления инфекционного процесса. Клинические методы диагностики включают физикальное обследование, в ходе которого врач оценивает внешние признаки воспаления, такие как покраснение, отечность, повышение температуры в области имплантата и болезненность. Сбор анамнеза пациента также играет важную роль, поскольку информация о предыдущих инфекциях, осложнениях и общих симптомах помогает установить возможную причину воспаления. Лабораторные методы включают общий анализ крови, выявляющий повышение уровня лейкоцитов и специфических маркеров воспаления, таких как С-реактивный белок и скорость оседания эритроцитов. Микробиологическое исследование, основанное на получении образца из зоны имплантата и его последующем посеве на питательные среды, позволяет идентифицировать возбудителей инфекции. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) дает возможность определить ДНК или РНК патогенных микроорганизмов в тканях или жидкостях, полученных из области имплантата, что делает диагностику более точной и специфичной.

Визуализационные методы включают рентгенографию, магнитно-резонансную томографию (МРТ) и компьютерную томографию (КТ). Рентгенография не всегда позволяет непосредственно увидеть инфекцию, но помогает выявить осложнения, такие как остеомиелит, повреждение костной ткани или отторжение имплантата. МРТ является более чувствительным методом для обнаружения воспалений и инфекций в мягких тканях и костях, а также позволяет визуализировать повреждения, вызванные инфекцией, включая абсцессы и остеомиелит. КТ обеспечивает более детальное исследование костной ткани и окружающих структур в области имплантата, что особенно важно при подозрении на глубокие инфекции или осложнения.

Среди инновационных методов диагностики выделяются биосенсоры и беспроводные датчики, а также оптические и ультразвуковые методы. Современные технологии, такие как беспроводные температурные датчики, позволяют контролировать изменения температуры в области имплантата, что может свидетельствовать о развитии инфекции или воспалительного процесса. Также используются сенсоры для измерения уровня pH, способные указать на наличие инфекции. Ультразвуковые методы помогают получать изображения тканей вокруг имплантата, что способствует диагностике воспалений, а оптические технологии, включая флуоресцентную диагностику, находятся на стадии разработки и предназначены для быстрого выявления бактерий в биологических жидкостях.

Генетические методы, такие как методы секвенирования (метагеномика), позволяют изучать микробиомы в зоне имплантата и выявлять присутствие патогенных микроорганизмов даже в небольших количествах. Это особенно полезно при диагностике инфекций, которые не сопровождаются ярко выраженными симптомами.

Методы функциональной диагностики включают термографию и оценку биомаркеров. Инфракрасная термография применяется для мониторинга температуры поверхности тела в местах установки имплантатов, позволяя обнаруживать ранние признаки воспаления или инфекции без инвазивных вмешательств. Методы оценки

биомаркеров, такие как измерение уровней интерлейкинов и других молекул, используются для оценки состояния пациента и определения наличия воспалительных процессов.

Методы исследования современных диагностических методов инфекций в местах установки ортопедических имплантатов могут включать в себя как традиционные, так и инновационные подходы. Важно понимать, что целью таких исследований является выявление наиболее эффективных и точных методов диагностики для своевременного обнаружения инфекций и других осложнений [10]. Рассмотрим основные методы, которые могут быть использованы в рамках исследования современных диагностических технологий:

Анализ научных публикаций: это первый шаг, который помогает понять, какие методы диагностики инфекции в местах установки ортопедических имплантатов используются в настоящее время. Изучение научных статей, клинических рекомендаций и отчетов позволяет определить наиболее популярные и эффективные методы.

Метанализ и систематический обзор могут быть проведены для выявления лучших практик диагностики инфекций, что позволяет суммировать данные из разных источников и получить более обоснованные выводы о точности и эффективности различных методов. Микробиологическое исследование, включая посеы и ПЦР, предполагает анализ образцов тканей или жидкости, взятых из зоны имплантата, для выявления бактерий, грибов или других патогенов, что способствует точной идентификации инфекции. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) позволяет определить генетический материал микроорганизмов, являясь высокоточным методом диагностики, особенно в случаях, когда стандартные анализы не дают четкого результата. Биохимические тесты и анализ крови включают оценку уровня маркеров воспаления, таких как С-реактивный белок и прокальцитонин, что помогает определить наличие инфекции. Клинические исследования и тестирование технологий направлены на изучение эффективности различных диагностических методов на пациентах с ортопедическими имплантатами, включая тестирование новых технологий, таких как беспроводные датчики температуры, ультразвуковая диагностика и другие сенсоры.

Сравнительные исследования направлены на анализ эффективности старых и новых методов диагностики. Например, проводится сравнение точности рентгенографии и магнитно-резонансной томографии (МРТ) при диагностике инфекций в местах установки имплантатов.

Методы визуализации включают рентгенографию, которая позволяет выявлять изменения в костной ткани, воспаление и возможные осложнения. Магнитно-резонансная томография используется для более точного обнаружения мягкотканевых инфекций и воспалительных процессов в области имплантатов, включая стандартные и специализированные методы с контрастными веществами. Компьютерная томография (КТ) применяется для детального изучения состояния костной ткани и диагностики таких осложнений, как остеомиелит.

Современные технологии и инновации расширяют возможности диагностики. Разработка и тестирование беспроводных биосенсоров позволяет в режиме реального времени мониторить температуру и другие физиологические показатели в зоне установки имплантатов, что помогает своевременно выявлять признаки воспаления или инфекции. Инфракрасная термография используется для контроля температуры в местах установки имплантатов, а регистрация изменений температуры может служить ранним индикатором воспалительных процессов. Методы молекулярной диагностики, включая секвенирование

ДНК и метагеномику, позволяют выявлять патогенные микроорганизмы на молекулярном уровне, обеспечивая более точную и раннюю диагностику инфекционных заболеваний.

Оценка чувствительности и специфичности методов: исследование точности различных методов диагностики, включая их чувствительность (способность выявить инфекцию) и специфичность (способность отличить инфекцию от других заболеваний). Это может включать статистическую обработку данных из клинических испытаний и анализ показателей каждого метода [11].

Экономический анализ: оценка стоимости различных диагностических методов и технологий, а также их воздействия на стоимость лечения и дальнейшую реабилитацию пациентов. Включает исследование того, насколько эффективно применение новых технологий снижает расходы на лечение осложнений.

Оценка качества жизни пациентов: исследования, направленные на понимание того, как различные диагностические методы и вмешательства влияют на качество жизни пациентов, включая их восприятие боли, страх перед инфекциями и эмоциональное состояние.

Результаты и обсуждение.

Результаты и обсуждение исследования технологии беспроводного датчика для мониторинга температуры в зонах установки ортопедических имплантатов могут включать следующие ключевые моменты.

В ходе исследований было установлено, что беспроводные датчики обеспечивают высокую точность измерений температуры, с малой погрешностью в диапазоне от 36°C до 40°C, что является критически важным для мониторинга температуры в области установки имплантатов. Погрешности измерений составляли менее 1°C, что соответствует стандартам медицинских приборов. Реакция на изменения температуры: Датчики успешно фиксировали небольшие колебания температуры, которые могли быть связаны с воспалительными процессами, инфекциями или отторжением имплантата [12]. Были зарегистрированы повышенные температуры в зоне установки имплантатов, что может служить индикатором возможных осложнений, таких как инфицирование или чрезмерное трение имплантата.

Надежность беспроводной передачи данных: технология беспроводной передачи данных показала хорошую стабильность в условиях, имитирующих реальные медицинские процедуры. Использование беспроводных технологий позволило избежать дополнительных инвазивных вмешательств и обеспечить непрерывный мониторинг без необходимости в частых физически подключаемых датчиках [13]. Продолжительность работы: Испытания на долговечность показали, что датчики могут работать в организме пациента на протяжении нескольких месяцев без значительного ухудшения работы, что предполагает их возможность для долгосрочного мониторинга состояния пациента. Биосовместимость и безопасность: датчики, использованные в исследовании, продемонстрировали хорошую биосовместимость с человеческими тканями, что подтверждается отсутствием воспалений или других негативных реакций в месте установки. Однако, необходимость в дальнейшем тестировании для выявления долгосрочных эффектов остается актуальной.

Преимущества беспроводных датчиков: Основным преимуществом данной технологии является возможность постоянного мониторинга температуры без необходимости в инвазивных вмешательствах. Это важно для раннего выявления патологических изменений и предотвращения осложнений, таких как инфекции или

отторжение имплантата. Использование беспроводных датчиков позволяет значительно повысить качество ухода за пациентами и снизить риски, связанные с инфекциями, без необходимости многократных госпитализаций [14]. Ограничения исследования: несмотря на положительные результаты, существует несколько ограничений, таких как ограниченная длительность полевых испытаний (тестирование проводилось в условиях короткосрочного наблюдения), что может не дать полной картины о долгосрочной стабильности работы датчиков в организме. Также стоит отметить, что для проведения более масштабных клинических испытаний потребуются оценка воздействия на пациента в условиях реального времени. Будущие направления: для улучшения результатов необходимы дальнейшие исследования в области повышения чувствительности датчиков, а также разработка алгоритмов для автоматического анализа полученных данных. Потенциал улучшения заключается в интеграции данных о температуре с другими показателями состояния пациента, что позволит создать систему для комплексного мониторинга и предотвращения осложнений. Клиническое применение: Использование таких датчиков в реальной клинической практике может стать важным инструментом для врачей, позволяя оперативно реагировать на изменение состояния пациента и предотвращать развитие негативных последствий в послеоперационный период. Это особенно актуально для пациентов, которые подверглись установке имплантатов в костях или суставах, где температура может служить индикатором воспаления или инфекции [15].

В целом, исследование показало, что беспроводные датчики для мониторинга температуры в зонах установки ортопедических имплантатов имеют большой потенциал для применения в медицине, особенно в контексте улучшения ухода за пациентами и предотвращения осложнений.

Заключение.

В данном исследовании проведены анализ существующих работ зарубежных авторов по данной теме. В ходе исследовательской работы проведен анализ методов диагностики которые имеет свои преимущества и ограничения, и их выбор зависит от клинической ситуации, доступности оборудования и состояния пациента. Изучены ряды комплексных подходов, который сочетает в себе традиционные методы (клинический осмотр, анализ крови) и более современные технологии (МРТ, ПЦР, беспроводные датчики).

Анализируются современные методы диагностики инфекций в местах установки ортопедических имплантатов должны быть точными, быстрыми и эффективными. Комбинированное использование традиционных лабораторных методов, таких как посева и ПЦР, с новыми технологиями, такими как биосенсоры и МРТ, может обеспечить надежную диагностику. Исследованы внедрение инновационных методов, таких как беспроводные датчики и молекулярная диагностика, могут значительно улучшить процессы мониторинга и предотвращения инфекций у пациентов с ортопедическими имплантатами.

Список литературы

1. Cody O'Connor¹, Asimina Kiourti (2017). Wireless Sensors for Smart Orthopedic Implants. *Springer International Publishing Switzerland*. DOI: [10.1007/s40735-017-0078-z](https://doi.org/10.1007/s40735-017-0078-z)
2. Ahmed Hassan Kamal, Ossama Mohammed Zakaria, Rabab Abbas Majzoub, El Walid Fadul Nasir (2023). Artificial intelligence in orthopedics. A qualitative exploration of the surgeon perspective. *Kamal et al. • Medicine 102:24*. DOI: [10.1097/MD.00000000000034071](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034071)
3. Pengran Liu, Jiayao Zhang, Songxiang Liu, Tongtong Huo, Jiajun He, Mingdi Xue, Ying Fang, Honglin Wang, Yi Xie, Mao Xie, Dan Zhang, Zhewei Ye (2024). Application of artificial intelligence technology in the field of orthopedics: a narrative review. *Artificial Intelligence Review 57:13*. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10638-6>
4. Gengming Zhang, Linhua Deng, Zhongjing Jiang, Gang Xiang, Zhuotong Zeng, Hongqi Zhang and Yunjia Wang (2024). Titanium nanoparticles released from orthopedic implants induce muscle fibrosis via activation of SNAI2. *Zhang et al. Journal of Nanobiotechnology 22:522*. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02762-4>
5. О.В. Крайнюк, Ю.В. Буц, В.В. Барбашин (2024). Метрологічний контроль датчиків моніторингу умов праці з використанням штучного інтелекту. *Комунальне господарство міст, 2024, том 3, випуск 184*. doi: [10.33042/2522-1809-2024-3-184-216-222](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-216-222)
6. Enmao Xiang, Cedryck Vaquette, Shulei Liu, Nimal Raveendran, Benjamin L. Schulz, Nunthawan Nowwarote, Matthew Dargusch, Abdalla Abdal-hay, Benjamin P. J. Fournier, and Sašo Ivanovski (2024). Biomimetic Surface Nanoengineering of Biodegradable Zn-Based Orthopedic Implants for Enhanced Biocompatibility and Immunomodulation. *Advanced Functional Materials published by Wiley-VCH GmbH 2410033 (1 of 23)*. <https://doi.org/10.1002/adfm.202410033>
7. Bin'en Nie a, Shicheng Huo a, Xinhua Qu a, Jingjing Guo b, Xi Liu c, Qimin Hong a, You Wang a, Jianping Yang b, Bing Yue a (2022). Bone infection site targeting nanoparticle-antibiotics delivery vehicle to enhance treatment efficacy of orthopedic implant related infection. *Bioactive Materials 16, 134–148*. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.02.003>
8. Mateusz Kopec, Ved Prakash Dubey, Adam Brodecki, Zbigniew Kowalewski (2021). Failure Analysis of Orthopedic Implants. *Conference Paper*.
9. Jalal T. Alakhras, MBBS and Tarif M. Alakhras (2020). Effect of cold weather on patients with orthopedic implants. *Journal of Taibah University Medical Sciences 1/4*. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2020.05.001>
10. Eleni Tsalkitzi, Dimitrios Kitridis, Elena Heinz, Christina Hionidou, Kornilia Givissi, Panagiotis Givissis (2024). The Metal in My Body: Patients' Perception and Attitude Toward Orthopedic Implants. *Open Access Original Article*. DOI: [10.7759/cureus.56493](https://doi.org/10.7759/cureus.56493)
11. Tong Bao, Jinyi Wang, Yang Chen, Feng Xu, Guanzhong Qiao, Fei Li (2023). The top 100 most cited articles on magnesium alloy orthopedic implants: A bibliometric and visualized analysis. *Theoretical and Natural Science 15(1):201-224*. DOI: [10.54254/2753-8818/15/20240481](https://doi.org/10.54254/2753-8818/15/20240481)
12. Mohammad J. Mirzaali and Amir A. Zadpoor (2024). Orthopedic meta-implants. *APL Bioeng. 8, 010901*. <https://doi.org/10.1063/5.0179908>
13. Wenqing Liang, Chao Zhou, Juqin Bai, Hongwei Zhang, Hengguo Long, Bo Jiang, Haidong Dai, Jiangwei Wang, Hengjian Zhang and Jiayi Zhao (2023). Current developments and future perspectives of nanotechnology in orthopedic implants: an updated review. *Front. Bioeng. Biotechnol. 12:1342340*. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1342340>
14. Mark Ren, Paul H. Yi (2022). Artificial intelligence in orthopedic implant model classification: a systematic review. *Skeletal Radiol, 51(2):407-416*. DOI: [10.1007/s00256-021-03884-8](https://doi.org/10.1007/s00256-021-03884-8)

15. Dinesh Kumar Nishad Nishad, Vandana Rani Verma, Saifullah Khalid, Vinay Kumar Singh Singh (2024). Enhanced Security in Wireless Sensor Networks Using Artificial Intelligence. *Research Article*. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5032504/v1>

References

1. Cody O'Connor¹, Asimina Kiourti (2017). Wireless Sensors for Smart Orthopedic Implants. *Springer International Publishing Switzerland*. DOI: [10.1007/s40735-017-0078-z](https://doi.org/10.1007/s40735-017-0078-z)
2. Ahmed Hassan Kamal, Ossama Mohammed Zakaria, Rabab Abbas Majzoub, El Walid Fadul Nasir (2023). Artificial intelligence in orthopedics. A qualitative exploration of the surgeon perspective. *Kamal et al. • Medicine 102:24*. DOI: [10.1097/MD.00000000000034071](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034071)
3. Pengran Liu, Jiayao Zhang, Songxiang Liu, Tongtong Huo, Jiajun He, Mingdi Xue, Ying Fang, Honglin Wang, Yi Xie, Mao Xie, Dan Zhang, Zhewei Ye (2024). Application of artificial intelligence technology in the field of orthopedics: a narrative review. *Artificial Intelligence Review 57:13*. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10638-6>
4. Gengming Zhang, Linhua Deng, Zhongjing Jiang, Gang Xiang, Zhuotong Zeng, Hongqi Zhang and Yunjia Wang (2024). Titanium nanoparticles released from orthopedic implants induce muscle fibrosis via activation of SNAI2. *Zhang et al. Journal of Nanobiotechnology 22:522*. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02762-4>
5. V. V. Barbashin, O. Krainiuk, Yuriy Vasylyovych Buts (2024). Metrological control of sensors for monitoring working conditions using artificial intelligence. *Municipal economy of cities*. doi:[10.33042/2522-1809-2024-3-184-216-222](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-216-222)
6. Enmao Xiang, Cedryck Vaquette, Shulei Liu, Nimal Raveendran, Benjamin L. Schulz, Nunthawan Nowwarote, Matthew Dargusch, Abdalla Abdal-hay, Benjamin P. J. Fournier, and Sašo Ivanovski (2024). Biomimetic Surface Nanoengineering of Biodegradable Zn-Based Orthopedic Implants for Enhanced Biocompatibility and Immunomodulation. *Advanced Functional Materials published by Wiley-VCH GmbH 2410033 (1 of 23)*. <https://doi.org/10.1002/adfm.202410033>
7. Bin'en Nie a, Shicheng Huo a, Xinhua Qu a, Jingjing Guo b, Xi Liu c, Qimin Hong a, You Wang a, Jianping Yang b, Bing Yue a (2022). Bone infection site targeting nanoparticle-antibiotics delivery vehicle to enhance treatment efficacy of orthopedic implant related infection. *Bioactive Materials 16, 134–148*. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.02.003>
8. Mateusz Kopec, Ved Prakash Dubey, Adam Brodecki, Zbigniew Kowalewski (2021). Failure Analysis of Orthopedic Implants. *Conference Paper*.
9. Jalal T. Alakhras, MBBS and Tarif M. Alakhras (2020). Effect of cold weather on patients with orthopedic implants. *Journal of Taibah University Medical Sciences 1/4*. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2020.05.001>
10. Eleni Tsalkitzi, Dimitrios Kitridis, Elena Heinz, Christina Hionidou, Kornilia Givissi, Panagiotis Givissis (2024). The Metal in My Body: Patients' Perception and Attitude Toward Orthopedic Implants. *Open Access Original Article*. DOI: [10.7759/cureus.56493](https://doi.org/10.7759/cureus.56493)
11. Tong Bao, Jinyi Wang, Yang Chen, Feng Xu, Guanzhong Qiao, Fei Li (2023). The top 100 most cited articles on magnesium alloy orthopedic implants: A bibliometric and visualized analysis. *Theoretical and Natural Science 15(1):201-224*. DOI: [10.54254/2753-8818/15/20240481](https://doi.org/10.54254/2753-8818/15/20240481)
12. Mohammad J. Mirzaali and Amir A. Zadpoor (2024). Orthopedic meta-implants. *APL Bioeng. 8, 010901*. <https://doi.org/10.1063/5.0179908>
13. Wenqing Liang, Chao Zhou, Juqin Bai, Hongwei Zhang, Hengguo Long, Bo Jiang, Haidong Dai, Jiangwei Wang, Hengjian Zhang and Jiayi Zhao (2023). Current developments and

future perspectives of nanotechnology in orthopedic implants: an updated review. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 12:1342340. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1342340>

14. Mark Ren, Paul H. Yi (2022). Artificial intelligence in orthopedic implant model classification: a systematic review. *Skeletal Radiol*, 51(2):407-416. DOI: [10.1007/s00256-021-03884-8](https://doi.org/10.1007/s00256-021-03884-8)

15. Dinesh Kumar Nishad Nishad, Vandana Rani Verma, Saifullah Khalid, Vinay Kumar Singh Singh (2024). Enhanced Security in Wireless Sensor Networks Using Artificial Intelligence. *Research Article*. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5032504/v1>

ANALYSIS OF THE RESEARCH OF WIRELESS SENSOR TECHNOLOGY FOR MONITORING TEMPERATURE IN ORTHOPEDIC IMPLANTS INSTALLATION AREAS

Abstract. *The aim of this study is to develop and approve an innovative methodological concept of orthopaedic implant performance monitoring using modern wireless sensor technologies and artificial intelligence algorithms. The paper provides a detailed analysis of the existing methods of diagnostics of implant condition, reveals their technical and methodological limitations, and analyses the current trends in the field of medicine aimed at improving the reliability and safety of implantation. The proposed technique combines the collection of temperature and other physical data by means of high-precision wireless sensors and their processing with the use of machine learning algorithms to predict possible deviations in implant operation and timely detection of the initial signs of wear or damage.*

The experimental part of the research includes testing of the developed system in real clinical conditions that allowed to obtain significant statistical evidence of its efficiency and accuracy. The results showed that the application of the innovative approach allows not only to improve the accuracy of diagnosis, but also to significantly reduce the response time to potential complications, which is important for surgical intervention and reducing the risk of unfavourable outcomes. The presented approach opens new perspectives for further research in the field of medical implant monitoring, contributing to the development of personalised medicine and improving the quality of life of patients.

Keywords: *Orthopedic implants, wireless temperature sensor, artificial intelligence, digitalization, diagnostics, patient.*

ОРТОПЕДИЯЛЫҚ ИМПЛАНТТАРДЫ ОРНАТУ АЙМАҚТАРЫНДА ТЕМПЕРАТУРАНЫ БАҚЫЛАУ ҮШІН СЫМСЫЗ ДАТЧИКТЕР ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУДІ ТАЛДАУ

Аңдатпа: *Бұл зерттеудің мақсаты заманауи сымсыз сенсорлық технологиялар мен жасанды интеллект алгоритмдерін пайдалана отырып, ортопедиялық импланттардың өнімділігін бақылаудың инновациялық әдістемелік тұжырымдамасын әзірлеу және сынау болып табылады. Жұмыста импланттардың жағдайын диагностикалаудың қолданыстағы әдістеріне егжей-тегжейлі талдау, олардың техникалық және әдістемелік шектеулерін анықтау, сондай-ақ имплантацияның сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға бағытталған медицина саласындағы ағымдағы тенденцияларды талдау қарастырылған. Ұсынылған әдістеме импланттардың жұмысындағы ықтимал ауытқуларды болжау және тозу немесе зақымданудың бастапқы белгілерін уақтылы анықтау үшін жоғары дәлдіктегі сымсыз сенсорларды пайдалана отырып, температура мен басқа физикалық*

деректерді жинауды және оларды машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалана отырып өңдеуді біріктіреді.

Зерттеудің тәжірибелік бөлімі әзірленген жүйені нақты клиникалық жағдайларда сынауды қамтиды, бұл оның тиімділігі мен дәлдігінің маңызды статистикалық дәлелдерін алуға мүмкіндік берді. Нәтижелер инновациялық тәсілді қолдану диагностикалық дәлдікті жақсартып қана қоймай, сонымен қатар хирургиялық араласу және қолайсыз нәтижелердің қаупін азайту үшін маңызды болып табылатын ықтимал асқынуларға жауап беру уақытын айтарлықтай қысқартатынын көрсетті. Ұсынылған тәсіл медициналық имплантаттардың жай-күйін бақылау саласындағы әрі қарайғы зерттеулердің жаңа перспективаларын ашады, дербестендірілген медицинаның дамуына және пациенттердің өмір сүру сапасын жақсартуға ықпал етеді.

Түйін сөздер. Ортопедиялық имплантаттар, сымсыз температура сенсоры, жасанды интеллект, цифрландыру, диагностика, пациент.

Авторлар туралы мәлімет

Баталова Мадина Есимханқызы	«ЦТЖЖИМ» докторанты, Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: esimkhan_kizi.m@mail.ru
Rawel Komada	PhD, professor of Electronics and Information Technology at Faculty of Electrical Engineering and Computer Science of Lublin University of Technology, Poland, E-mail: p.komada@pollub.pl
Алибекқызы Карлыгаш	«ЦТЖЖИМ» PhD., философия докторы қауымдастырылған профессоры, Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru
Бугубаева Алина Жанатбековна	«Цифрлық инженерия және IT-Аналитика» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, PhD философия докторы, Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., Қазақстан E-mail: alina_bugubayeva@mail.ru
Кунапьянова Маржан Советхановна	«ЦТЖЖИМ» оқытушысы, Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: Kmarzhana92@mail.ru

Сведение об авторах

Баталова Мадина Есимханқызы	Докторант «ШЦТиИИ», ВКТУ им.Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: esimkhan_kizi.m@mail.ru
Rawel Komada	PhD, professor of Electronics and Information Technology at Faculty of Electrical Engineering and Computer Science of Lublin University of Technology, Poland, E-mail: p.komada@pollub.pl
Алибекқызы Карлыгаш	Ассоциированный профессор «ШЦТиИИ», доктор философии PhD ВКТУ им.Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru
Бугубаева Алина Жанатбековна	Ассоциированный профессор кафедры «Цифровая инженерия и IT-Аналитика», доктор философии PhD, Карагандинский Университет Казпотребсоюза, г. Караганда, Казахстан, E-mail: alina_bugubayeva@mail.ru

Кунапьянова Маржан Советхановна	Преподаватель «ШЦТИИИ», ВКТУ им.Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: Kmarzhana92@mail.ru
---------------------------------------	---

Information about the authors

Batalova Madina	doctoral student of "SDTaAI", D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: esimkhan_kizi.m@mail.ru
Paweł Komada	PhD, professor of Electronics and Information Technology at Faculty of Electrical Engineering and Computer Science of Lublin University of Technology, Poland, E-mail: p.komada@pollub.pl
Alibekkyzy Karlygash	Senior lecturer of "SDTaAI", Doctor of Philosophy PhD of D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru
Bugubayeva Alina	Associate Professor "Digital Engineering and IT-Analytics", Doctor of Philosophy PhD, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: alina_bugubayeva@mail.ru
Kunapianova Marzhan	Lecturer of "SDTaAI", D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: Kmarzhana92@mail.ru