

*На правах рукописи*



**Ким Тхе Ван**

**ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ  
ПОДАГРИЧЕСКОГО АРТРИТА**

**3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Томск – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, профессор **Завадовская Вера Дмитриевна**

**Официальные оппоненты:**

**Петрайкин  
Алексей  
Владимирович**

доктор медицинских наук, доцент, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», отдел стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», врач-рентгенолог, главный научный сотрудник, г. Москва

**Сергеев  
Николай  
Иванович**

доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, лаборатория рентгенорадиологии, заведующий, врач-рентгенолог отделения рентгеновской диагностики, профессор кафедры ИНОПР «Рентгенорадиологии» ФГАОУ ВО «Российский Национальный Исследовательский Медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 года в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета 24.1.215.04, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» по адресу г. Томск, ул. Киевская, 111а, Научно-исследовательский институт кардиологии - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», адрес сайта <http://tnimc.ru/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 года

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор медицинских наук



Гракова Елена Викторовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

Подагрический артрит (ПА) представляет собой наиболее распространенную форму кристаллической артропатии, патогенез которой связан с отложением кристаллов моноурата натрия (МУН) в суставах и окружающих мягких тканях (Mercken K., 2025). Это приводит к прогрессирующему повреждению суставных структур и околосуставных тканей, причем наиболее часто заболевание поражает первый плюснефаланговый сустав (Bursill D., 2019; Asghari K., 2024). Клиническая картина характеризуется интенсивной болью, выраженным воспалительным процессом и отеком пораженной области. Согласно эпидемиологическим исследованиям, распространенность подагрического артрита неуклонно возрастает во всем мире, что существенно снижает качество жизни пациентов (Deng P., 2022; Panina E., 2023).

Современные подходы к лечению подагры постоянно совершенствуются, однако ключевое значение в эффективной терапии имеет точная и своевременная диагностика, особенно на ранних стадиях заболевания. Раннее выявление патологии позволяет своевременно начать адекватное лечение, предотвратить развитие функциональных нарушений в суставах, обеспечить контроль над течением болезни и, как следствие, улучшить прогноз и качество жизни пациентов.

В настоящее время диагностика подагрического артрита остается сложной задачей, поскольку подтверждение диагноза преимущественно основывается на совокупности клинических и лабораторных данных (Krebs A., 2024). При этом «золотой стандарт» диагностики – исследование синовиальной жидкости с выявлением кристаллов моноурата натрия – не всегда может быть применен в клинической практике. Это связано с инвазивностью метода, сопряженного с определенными рисками, а также техническими сложностями при заборе материала из мелких суставов или атипичных локализаций патологического процесса.

Особую роль в диагностике заболеваний суставов играют лучевые методы исследования, включающие рентгенографию, компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), ультразвуковое исследование (УЗИ), сцинтиграфию. Однако ни один из этих методов в полной мере не соответствует требованиям современной диагностики подагрического артрита. Основные ограничения связаны с наличием рентгенонегативного периода, сложностями при нетипичной локализации патологического процесса, дифференциальной диагностикой с другими эрозивными и кристаллическими артропатиями, а в ряде случаев – с трудностями верификации мягкотканых структур (De Avila Fernandes E. 2016; Davies J., 2019; Kwok T., 2025; Punzi L., 2025). Таким образом, внедрение неинвазивных и высокоточных методов диагностики подагрического артрита, особенно на ранних стадиях, представляет собой актуальную проблему современной ревматологии и лучевой диагностики.

Среди лучевых методов диагностики подагрического артрита двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ) занимает особое место. В отличие от традиционных способов визуализации, этот метод позволяет непосредственно выявлять кристаллы моноурата натрия в тканях и количественно оценивать их объем (Bongratz T., 2015; Abdellatif W., 2020; Brahmhatt P., 2022; Fukuda T., 2025; Lacaita P., 2025). Такая возможность способна обеспечить принципиально новый уровень точности диагностики, что особенно важно для раннего выявления заболевания и мониторинга эффективности терапии. Однако, несмотря на очевидные диагностические преимущества ДЭКТ, этому методу присущ и ряд проблем. Они связаны с его низкой чувствительностью на ранних стадиях заболевания, а также с высокой стоимостью исследований. Это ограничивает широкое применение ДЭКТ в клинической практике, хотя в сложных случаях метод мог бы существенно улучшить качество диагностики.

Таким образом, двухэнергетическая компьютерная томография потенциально обладает высокой диагностической точностью в неинвазивном установлении подагрического артрита путем выявления кристаллов моноурата натрия. Это особенно ценно при поражении мелких

суставных структур, атипичных локализациях патологического процесса, а также выявлении патологических изменений в различные сроки течения заболевания.

### **Степень разработанности темы исследования**

В настоящее время двухэнергетическая компьютерная томография находит все более широкое применение в диагностике ряда заболеваний (Терновой С., 2021; Vlahos I., 2021; Dell'Aversana S., 2022; Mershina E., 2022; Foti G., 2024; Park E.H., 2025). Метод уже используется в выявлении патологий легких, сердечно-сосудистой системы, онкологических процессов, а также заболеваний суставов, в частности подагрического артрита. Анализ современных литературных источников, связанных с научной оценкой изучаемой проблемы, указывает на неоднозначность, а иногда на противоречивость интерпретации полученных данных с помощью ДЭКТ при исследовании пациентов с подозрением на подагрический артрит.

На данный момент подагрический артрит занимает лидерские позиции среди кристаллических артропатий, при этом существует несколько актуальных проблем, связанных с диагностикой данного заболевания (Bursill D. et al., 2019; Pou M. et al., 2024; FitzGerald J. et al., 2025). Во-первых, это отсутствие возможности проведения «золотого стандарта» в выявлении подагрического артрита – пункции синовиальной жидкости, а также ассоциированные с данной процедурой осложнения: иницирование патогенной микрофлоры, нарушение целостности анатомических структур, трудность проведения манипуляции в мелких суставах стоп и кистей (Reijnierse M. et al., 2022). Во-вторых, низкая диагностическая эффективность стандартных методов диагностики, в том числе на ранних стадиях, включая клиничко-лабораторные и лучевые методы визуализации (Насонова В.А. и соавт., 2004; Weaver J.S. et al., 2021; Badshah M. et al., 2024). Основным лабораторным паттерном подагрического артрита является концентрация мочевой кислоты в сыворотке крови, однако стойкое повышение данного показателя не всегда приводит к проявлениям подагрического артрита (Беляева И.В. и соавт., 2021; Dalbeth N. et al., 2018; Danve A. et al., 2021; Pascart T. et al., 2024). Типичные рентгенологические признаки подагрического артрита проявляются на поздних стадиях развития заболевания, по данным разных авторов они наступают спустя 3–12 лет от дебюта, а неспецифические лучевые симптомы, в частности мелкие эрозии, диктуют необходимость проведения тщательной дифференциальной диагностики для исключения других эрозивных артропатий (Davies J. et al., 2019; Low E. et al., 2020; Kumar et al., 2024; Părvănescu C. et al., 2024; Chandratre P. et al., 2025). В отличие от рентгенографии, ультразвуковое исследование имеет преимущество в прямой визуализации тофусов и предоставляет возможность выявлять высокоспецифичные признаки, к которым относятся «знак двойного контура» и «симптом снежной бури», несмотря на их умеренную чувствительность (Lee Y.H. et al., 2018; Shang J. et al., 2022; Calvo-Aranda E. et al., 2025). При этом неспецифические эрозивные изменения обуславливают необходимость дифференциальной диагностики с иными эрозивными артропатиями, кроме того, метод проигрывает в дифференциальной диагностике с другими кристаллическими заболеваниями суставов двухэнергетической КТ (Pastor C.M. et al., 2022; Sivera F. et al., 2022). Согласно анализу литературных источников, количество исследований диагностических возможностей стандартной КТ, МРТ и радионуклидных методов визуализации относительно низкое. При этом полученные в них результаты свидетельствуют о недостаточно высокой диагностической ценности указанных методов, в особенности на ранних стадиях заболевания, что требовало применения дополнительных методов верификации диагноза, таких как анализ синовиальной жидкости и двухэнергетическая КТ (Wang J.X. et al., 2020; Udongwo N.E. et al., 2021; Hng J. et al., 2023; Jiao B. et al., 2024; Shu S. et al., 2024; Wang Y. et al., 2025). В то же время необходимо помнить о рисках, связанных с пункцией синовиальной жидкости, – инфицировании или кровотечении, а также о сложности ее проведения в мелких суставах или недостаточном объеме для адекватного анализа (Reijnierse M. et al., 2022).

Двухэнергетическая КТ обладает высокими показателями диагностической эффективности в выявлении подагрического артрита, в том числе в сравнении с вышеупомянутыми методами визуализации (Walstra F.E. et al., 2019; Thompson J.W. et al., 2021; Brahmhatt P. et al., 2022; Sun M. et al., 2025). Благодаря своим физическим особенностям, метод дает возможность непосредственно визуализировать кристаллы моноурата натрия, что позволяет дифференцировать подагрический артрит от других кристаллических артритов, а с помощью программного обеспечения количественно оценить объем выявленного субстрата (Teh J. et al., 2018; Abdellatif W. et al., 2020; Vuurberg G. et al., 2025). Однако наряду с данными о высокой диагностической эффективности в литературе имеются сведения о низкой чувствительности метода на ранних стадиях заболевания, а также отмечается, что артефакты могут приводить к ложноположительным результатам (Park E.H. et al., 2020; Kravchenko D. et al., 2022; Shang J. et al., 2022; Dong Y. et al., 2025).

Таким образом, существующие проблемы, связанные с лабораторными тестами и лучевыми методами диагностики, а также артефакты и данные о низкой информативности ДЭКТ на ранних стадиях заболевания в совокупности формируют современную проблему диагностики подагры. Именно эта проблема определяет актуальность, цель и задачи настоящего исследования.

### **Цель работы**

Изучить возможности двухэнергетической компьютерной томографии для оптимизации диагностики подагрического артрита в зависимости от продолжительности заболевания.

### **Задачи исследования**

1. Систематизировать лучевые паттерны подагрического артрита и оценить в сравнительном аспекте диагностическую эффективность используемых при данном заболевании лучевых модальностей.

2. Оценить диагностическую информативность ДЭКТ в индикации кристаллов МУН в различные сроки течения подагрического артрита.

3. Установить характер корреляционных связей результатов ДЭКТ и клинико-лабораторных данных у больных подагрическим артритом.

4. Разработать прогностическую модель вероятности обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ для стратификации пациентов с целью оптимизации диагностического процесса с включением в диагностический лучевой алгоритм.

### **Научная новизна**

Впервые разработана и предложена модель логистической регрессии, позволяющая прогнозировать вероятность индикации кристаллов моноурата натрия по результатам ДЭКТ и оптимизировать диагностический алгоритм подагры.

Выявлено отсутствие взаимосвязи между концентрацией мочевой кислоты в крови и объемом кристаллов моноурата натрия в различные сроки течения болезни, а также между вероятностью обнаружения кристаллов МУН и гендерной принадлежностью больных подагрическим артритом.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Систематизация данных ДЭКТ-диагностики и разработка алгоритмов её применения у пациентов с подозрением на подагрический артрит позволят оптимизировать весь диагностический процесс. По результатам проведенного исследования автором была создана прогностическая модель на основе логистической регрессии. Данная модель позволяет с высокой точностью определять вероятность обнаружения кристаллов моноурата натрия при проведении двухэнергетической компьютерной томографии. Разработанный алгоритм дает возможность не только прогнозировать наличие или отсутствие кристаллических отложений, но и эффективно распределять пациентов по группам риска, что существенно повышает диагностическую ценность метода ДЭКТ в клинической практике.

Внедрение этих разработок в клиническую практику обеспечит своевременное назначение адекватной патогенетической терапии, что особенно важно на ранних стадиях заболевания.

Кроме того, использование двухэнергетической компьютерной томографии в качестве метода динамического наблюдения позволит оценивать объем кристаллов моноурата натрия в процессе лечения, корректируя терапевтическую тактику при необходимости. Это особенно актуально для сложных диагностических случаев с нетипичной клинической картиной.

Таким образом, реализация предложенных подходов позволит не только повысить точность диагностики подагрического артрита, но и улучшить долгосрочные результаты лечения, что в конечном итоге положительно скажется на качестве жизни пациентов и прогнозе заболевания.

### **Методология и методы исследования**

Исследование проводилось в несколько этапов с оценкой клинической картины, результатов инструментальных методов (преимущественно лучевых), лабораторных данных и с последующей статистической обработкой полученных результатов.

Первый этап – всесторонний анализ научной литературы российских и зарубежных авторов, посвященной вопросам лучевой диагностики подагрического артрита.

Второй этап – клиничко-инструментальный, где проводилась комплексная оценка диагностической эффективности различных методов лучевой диагностики (рентгенографии, КТ, МРТ и ДЭКТ) у пациентов с подагрическим артритом и разной продолжительностью заболевания.

Третий этап – аналитико-статистический, включающий детальное изучение полученных результатов, в ходе которого проводилось не только сравнение диагностической ценности применяемых методик визуализации, но и анализ возможных корреляционных взаимосвязей между данными ДЭКТ (наличие и объем кристаллов моноурата натрия) и показателями клиничко-лабораторного обследования пациентов (пол, возраст, продолжительность заболевания, концентрация мочевой кислоты в крови).

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Двухэнергетическая компьютерная томография обладает наиболее высокими показателями диагностической эффективности в выявлении подагрического артрита по сравнению с рентгенографией, компьютерной томографией и магнитно-резонансной томографией, в том числе в различные сроки течения заболевания.

2. Диагностическая эффективность двухэнергетической компьютерной томографии в выявлении кристаллов МУН переменна при различных сроках течения заболевания, что ассоциировано с формированием и объемом депозитов.

3. Разработанная модель на основе логистической регрессии позволяет прогнозировать вероятность обнаружения кристаллов моноурата натрия по результатам ДЭКТ.

### **Степень достоверности результатов**

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается комплексом взаимодополняющих факторов. Это достигается за счет анализа значительного клинического материала (140 пациентов), который формирует надежную базу. Применяемые диагностические и исследовательские методики напрямую вытекают из формулировок цели и задач, обеспечивая адекватность подхода. Кроме того, строгая обработка данных современными методами статистики служит дополнительным подтверждением объективности и точности полученных результатов.

### **Апробация материалов диссертации**

Материалы диссертации доложены и обсуждены на конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (г. Санкт-Петербург, 8-10 ноября 2023 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Радиология 21 века: от рутинной рентгенодиагностики до

искусственного интеллекта» (г. Томск, 20-21 сентября 2024 г.), XVI международном конгрессе «Невский радиологический форум» (г. Санкт-Петербург, 11-12 апреля 2025 г.).

### **Внедрение результатов исследования в практику**

Научные положения и практические рекомендации, сформулированные в диссертации, внедрены в работу отдела лучевой диагностики и терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, учебный процесс кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России.

### **Публикации**

По теме диссертационной работы опубликованы 4 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации для публикации материалов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

### **Личное участие автора**

Разработка дизайна исследования и определение методологии, исследование пациентов, анализ и обобщение полученных данных, анализ литературных источников по теме диссертации, статистическая обработка материала и написание всех глав диссертации выполнены лично автором.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 126 страницах машинописного текста, содержит 40 таблиц, иллюстрирована 18 рисунками и состоит из введения, обзора литературы, материала и методов, результатов собственных исследований, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Библиографический указатель содержит 153 литературных источника, из которых 19 отечественных и 134 зарубежных.

## **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Настоящее исследование было выполнено в рамках научной деятельности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Работа проводилась с соблюдением норм, провозглашенных Хельсинской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава России от 19.06.2003 № 266.

В исследовании приняли участие 140 пациентов с подозрением на подагрический артрит, возраст которых составил от 31 года до 85 лет (89 мужчин, 51 женщина, возраст 65 (54–71) лет), обратившихся в ревматологическое отделение клиник СибГМУ для диагностики и лечения заболевания суставов. У большинства пациентов (91 человек, 65%) продолжительность заболевания более 5 лет. Среднее значение МК в крови составило  $414,4 \pm 127,6$  мкмоль/л, при этом у 49% пациентов этот показатель не превышал 420,0 мкмоль/л.

Диагноз подагрического артрита был основан на диагностических критериях, разработанных совместно Американской коллегией ревматологов (ACR) и Европейской антиревматической лигой (EULAR), а также рекомендованных Всемирной организацией здравоохранения для применения в клинической практике.

Согласно вышеупомянутым критериям, а также критериям включения и исключения сформировались две группы: основная группа – пациенты с подтвержденный диагнозом (n=91, 155 локализаций поражения) и группа сравнения – пациенты с другими суставными патологиями (n=49, 97 локализаций поражения).

Критерии включения в основную группу: пациенты от 18 лет и старше с установленным диагнозом «подагрический артрит»; болевой синдром и/или отек мягких тканей суставов; отсутствие травм и/или оперативных вмешательств в зонах интереса; отсутствие противопоказаний к проведению рентгенографии, КТ, МРТ, ДЭКТ; информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения из основной группы: пациенты младше 18 лет с исключенным диагнозом «подагрический артрит»; наличие травм и/или оперативных вмешательств в зонах интереса; наличие противопоказаний для проведения рентгенографии, КТ, МРТ, ДЭКТ; добровольный отказ от исследования.

Критерии включения в группу сравнения: пациенты от 18 лет и старше с исключенным диагнозом «подагрический артрит»; отсутствие травм и/или оперативных вмешательств в зонах интереса; отсутствие противопоказаний к проведению рентгенографии, КТ, МРТ, ДЭКТ; информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения из группы сравнения: наличие травм и/или оперативных вмешательств в зонах интереса; наличие противопоказаний для проведения рентгенографии, КТ, МРТ, ДЭКТ; отказ пациента от участия в исследовании.

Всем пациентам проводилось комплексное клиничко-диагностическое обследование с применением лабораторных и визуализирующих методов. Сбор клиничко-анамнестических данных осуществлялся посредством стандартизированного опроса пациентов с последующим анализом всей доступной медицинской документации, включая амбулаторные карты, выписные эпикризы и результаты предыдущих диагностических исследований.

Клиническое обследование осуществлялось сертифицированным ревматологом с большим практическим опытом в строгом соответствии с действующими клиническими рекомендациями.

В рамках лабораторной диагностики всем пациентам проводился комплекс стандартных и специализированных исследований. Общеклиническое обследование включало выполнение развернутого общего анализа крови с определением основных гематологических показателей, а также биохимического анализа крови с обязательным исследованием уровня мочевой кислоты в сыворотке.

Для верификации диагноза осуществлялась пункционная аспирация синовиальной жидкости. Процедуру выполнял опытный врач-ревматолог, имеющий специализацию по инвазивным методам диагностики. Полученные образцы транспортировались в клиничко-диагностическую лабораторию, где проводилось комплексное исследование физико-химических свойств синовиальной жидкости.

*Рентгенография.* Всем участникам исследования (n=140) выполняли рентгенографию на цифровой рентгенодиагностической системе Apollo DRF с динамическим детектором (Villa Sistemi Medicali, Италия) в соответствии с общепринятыми и действующими клиническими стандартами.

*Магнитно-резонансная томография.* МРТ проводилась 37 пациентам с подозрением на подагрический артрит на аппарате General Electric SIGNA Creator с индукцией магнитного поля 1,5 Тесла, семи из которых было проведено с контрастным усилением (Омнискан 0,2мл/кг массы тела, Bayer Healthcare, Berlin, Germany). В ходе сканирования выполнялись срезы в трех плоскостях (сагиттальной, коронарной и аксиальной) толщиной 3–5 мм с применением T<sub>1</sub>ВИ и T<sub>2</sub>ВИ, а также с использованием методики подавления сигнала от жировой ткани (FSat, STIR).

*Рутинная и двухэнергетическая компьютерная томография.* Исследование проводилось 112 пациентам во всех зонах интереса (стопы, коленные суставы, кисти и локтевые суставы) с применением современной гибридной системы визуализации Siemens Symbia Intevo Bold, объединяющей возможности однофотонной эмиссионной и рентгеновской компьютерной томографии, обеспечивающей анализ полученных изображений в режиме рутинной КТ и ДЭКТ. Для всех выполняемых исследований использовались

стандартизированные параметры сканирования, включающие напряжение 80 и 130 кВ при работе в двухэнергетическом режиме, с толщиной среза 0,75 мм.

Для сканирования верхних конечностей пациенты располагались в положении лежа на животе с вытянутыми перед собой руками, что обеспечивало их оптимальное позиционирование в зоне сканирования. После предварительного лазерного центрирования выполнялось топографическое сканирование, охватывающее область от дистальных фаланг пальцев до дистальных метафизов плечевых костей. Прицельное исследование включало кисти (от дистальных фаланг до дистальных метафизов лучевой и локтевой костей) и локтевые суставы (от проксимальных метафизов костей предплечья до дистального метафиза плечевой кости).

При сканировании нижних конечностей пациенты находились в положении лежа на спине. После лазерного позиционирования проводилось обзорное сканирование от дистальных фаланг стоп до дистальных метафизов бедренных костей с последующим прицельным исследованием стоп (от дистальных фаланг до дистальных метафизов большеберцовых и малоберцовых костей) и коленных суставов (от проксимальных метафизов костей голени до дистальных метафизов бедренных костей). Полученные изображения подвергались реконструкции в трех основных плоскостях – аксиальной, коронарной и сагиттальной.

Обработка и анализ томографических данных осуществлялись с применением специализированного программного обеспечения Siemens Syngo.via, позволяющего выполнять мультипланарную и трехмерную реконструкцию изображений, автоматически выявлять и маркировать зеленым цветом кристаллы моноурата натрия, а также проводить количественную оценку объема уратных отложений в режиме CT Dual Energy.

### **Статистические методы обработки полученных результатов**

Для количественной оценки диагностической ценности применяемых методов лучевой диагностики проводился расчет основных показателей диагностической эффективности – чувствительности, специфичности, точности, положительной и отрицательной прогностической ценности. Статистическая достоверность полученных показателей оценивалась с помощью 95% доверительных интервалов, рассчитанных по методу Клоппера – Пирсона.

Все клинические и диагностические данные систематизировались в структурированной базе данных, созданной в Microsoft Office Excel. Статистический анализ выполнялся в среде RStudio (версия 2024.12.0) с использованием языка программирования R (версия 4.4.2). При описании количественных показателей применялись различные подходы в зависимости от характера распределения данных: для параметров с нормальным распределением использовались среднее арифметическое ( $M$ ) и стандартное отклонение ( $CO$ ), в то время как для показателей с отклонением от нормального распределения приводились медианы с межквартильным размахом ( $Q1-Q3$ ). Проверка нормальности распределения осуществлялась с применением критерия Шапиро – Уилка, а оценка равенства дисперсий между группами проводилась с помощью F-теста. Для оценки различий между методами по каждому показателю использовались обобщённые уравнения оценивания (Generalized Estimating Equations, GEE) с биномиальной логит-моделью и корреляционной структурой «exchangeable». Значимость различий определялась по тесту Вальда  $\chi^2$ . Парные сравнения выполнялись на основе оценённых предельных средних (Estimated Marginal Means, EMM) с применением поправки Холма на множественные сравнения. Сравнительный анализ количественных данных выполнялся с учетом характера их распределения: для параметров с нормальным распределением и равными дисперсиями применялся двухвыборочный t-тест Стьюдента, а для показателей с ненормальным распределением использовался непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Анализ категориальных переменных проводился с помощью критерия хи-квадрат Пирсона, а в случаях с малым количеством наблюдений (ожидаемые частоты менее 5) применялся точный критерий Фишера. Оценка

корреляционных взаимосвязей осуществлялась с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена с последующей поправкой на множественные сравнения методом Холма. Для выявления значимых предикторов обнаружения кристаллов мочевой кислоты использовался метод логистической регрессии с расчетом отношения шансов (ОШ) и соответствующих 95% доверительных интервалов. Качество построенных моделей оценивалось с помощью ROC-анализа, включающего расчет площади под кривой (AUC). Во всех видах анализа критический уровень статистической значимости (p-value) устанавливался на уровне 0,05, при этом различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Рентгенография

В ходе обследования 140 больных диагноз ПА был подтвержден у 91 (65%) пациента (155 локализаций пораженных суставов). У 49 (35%) пациентов (97 локализаций суставных поражений) диагноз ПА был опровергнут.

В ходе анализа рентгенограмм были выявлены патологические изменения костно-суставных и мягкотканых структур (таблица 1).

На следующем этапе была проведена оценка диагностической эффективности каждого из вышеперечисленных рентгенологических симптомов, а также диагностическая эффективность метода (таблицы 2, 3).

Таблица 1 – Изменения, выявленные при рентгенографии суставов пациентов основной группы и группы сравнения

Рентгенологический симптом	Количество локализаций с выявленными изменениями			
	Группа с ПА (n=155)		Группа без ПА (n=97)	
	Абс.	%	Абс.	%
Эрозии с нависающими склеротическими краями	54	34,8	8	8,2
Симптом «пробойника» в виде внутрикостного дефекта	17	10,9	4	4,1
Тофусы в виде нечетко очерченных мягкотканых образований	20	12,9	3	3,0
Эрозии без нависающих краев	91	58,7	78	80,4

Таблица 2 – Диагностическая эффективность рентгенологических симптомов у пациентов основной группы и группы сравнения

Рентгенологический симптом	Чувствительность, % (95%ДИ)	Специфичность, % (95%ДИ)	Точность, % (95%ДИ)
Эрозии с нависающими склеротическими краями	34,8 (27,4–43,1)	91,8 (85,3–95,4)	56,7 (50,5–62,7)
Эрозии без нависающих краев	58,7 (51,8–65,3)	19,5 (14,3–26,0)	43,7 (37,7–49,8)
Мягкотканый компонент тофуса	12,9 (7,6–18,2)	98,9 (94,1–99,8)	56,7 (51,0–63,2)
Симптом «пробойника»	10,9 (6,5–17,2)	95,9 (89,7–98,4)	51,9 (46,3–57,6)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Таблица 3 – Диагностическая эффективность рентгенографии в выявлении подагрического артрита

Результат (n)				Диагностическая эффективность (95%ДИ)*				
ИП	ИО	ЛО	ЛП	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	Точность, %
44	45	47	4	48,3 (36,3–60,5)	91,8 (83,8–96,1)	91,7 (80,5–96,7)	48,9 (39,0–59,0)	63,5 (55,4–71,6)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Типичные рентгенологические признаки подагрического артрита – эрозии с нависающими склеротическими краями – показали в нашем исследовании низкий параметр чувствительности при высокой специфичности. Ещё более низкие показатели чувствительности в выявлении типичных эрозий были получены в исследованиях Rettenbacher et al. (2008) и Richette et al. (2020) – 20% и 12% соответственно при высоких показателях специфичности 95% и 96% соответственно. Чувствительность выявления тофусов указанных авторов, наоборот, превышала наши показатели (26%).

Иллюстрации ИП-, ЛП-, ЛО-результатов рентгенографии в визуализации лучевых признаков ПА представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – ИП-результат: типичные эрозии с нависающими краями (черные стрелки) и тофусами (белые стрелки) в области 1-го плюснефалангового сустава (а). ЛП-результат: эрозии с нависающими краями (белые стрелки) в типичных для ПА локализациях (1-е плюснефаланговые суставы) у пациента с РА (б). ЛО-результат: мелкие эрозии костей запястья, дистального эпифиза локтевой кости, головки 1-й пястной кости и в отдельных межфаланговых суставах, имитирующие проявления РА, у пациента с ПА (в)

В целом метод оказался низкочувствительным (48,3%) и высокоспецифичным (91,8%) в выявлении подагрического артрита, что согласуется с литературными данными о низкой диагностической ценности рентгенографии при диагностике данного заболевания.

Для определения чувствительности метода в зависимости от продолжительности заболевания пациенты с верифицированным диагнозом (n=91) были распределены на 3 подгруппы: первая подгруппа с продолжительностью заболевания до 5 лет (n=28), вторая – от 5 до 10 лет (n=31) и третья – с положительностью болезни более 10 лет (n=32) (таблица 4).

Таблица 4 – Чувствительность рентгенографии в выявлении подагрического артрита в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Результат (n)		Чувствительность, % (95%ДИ)*
	ИП	ЛО	
До 5 лет	10 (35,7%)	18 (64,3%)	35,7 (19,6–54,9)
От 5 до 10 лет	16 (51,6%)	15 (48,4%)	51,6 (33,7–69,2)
Более 10 лет	18 (56,2%)	14 (43,8%)	56,2 (38,7–72,6)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Данные таблицы 4 демонстрируют низкую чувствительность метода в когорте пациентов с продолжительностью заболевания до 5 лет (35,7%). Полученный результат соответствует

результату исследований Reijniere et al. (2022), который не превышал 31%. Небольшая разница в показателях, вероятно, обусловлена различиями в характеристиках исследуемых групп. В нашем исследовании большинство пациентов имели продолжительность заболевания не более 5 лет, тогда как в вышеупомянутой работе участники имели продолжительность заболевания до 4 лет.

### Рутинная компьютерная томография

Исследование выполнено 112 пациентам, при этом проведен анализ 219 суставных локализаций. Выявленные патологические изменения костно-суставных и мягкотканых структур представлены в таблице 5.

Диагностическая эффективность каждого из вышеперечисленных симптомов, а также диагностическая эффективность метода представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 5 – Изменения, выявленные при КТ суставов пациентов основной группы и группы сравнения

Рентгенологический симптом	Количество патологических изменений			
	группа с ПА (n=142)		группа без ПА (n=77)	
	Абс.	%	Абс.	%
Эрозии с нависающими склеротическими краями	61	42,9	6	7,7
Эрозии без нависающих краев	104	73,2	71	92,2
Тофусы в виде нечетко очерченных мягкотканых образований	31	21,8	7	9,1
Симптом «пробойника» в виде внутрикостного дефекта	49	34,5	11	14,2

Таблица 6 – Диагностическая эффективность симптомов, выявленных у пациентов основной группы и группы сравнения

Симптом при рутинной КТ	Se, % (95%ДИ)*	Sp, % (95%ДИ)*	Точность, % (95%ДИ)*
Эрозии с нависающими склеротическими краями	42,9 (35,1–51,2)	92,2 (84,5–96,1)	60,2 (54,3–65,8)
Эрозии без нависающих краев	73,2 (65,8–79,5)	7,7 (3,6–16,1)	50,2 (44,3–56,1)
Мягкотканый компонент тофуса	21,8 (15,9–29,2)	90,9 (82,5–95,6)	46,1 (39,7–52,7)
Симптом «пробойника»	34,5 (27,1–42,9)	85,7 (76,2–91,8)	52,5 (46,1–58,9)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Таблица 7 – Диагностическая эффективность рутинной КТ в выявлении подагрического артрита

Результат (n)				Диагностическая эффективность (95%ДИ)*				
ИП	ИО	ЛО	ЛП	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	Точность, %
44	36	29	3	60,3 (48,2–71,2)	92,3 (79,1–98,4)	93,6 (82,5–97,8)	55,4 (43,3–66,8)	71,4 (61,8–79,4)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Типичные эрозии (42,9%) и мягкотканые компоненты тофусов (21,8%), выявляемые при стандартной КТ, характеризовались низкой чувствительностью, хотя и превосходили аналогичные рентгенографические признаки, подтверждая превосходство томографического метода перед рентгенографией. Благодаря высокой разрешающей способности метода в

оценке костных структур, чувствительность в выявлении мелких эрозий также оказалась выше, чем при рентгенографии (73,2% против 58,7%). Однако низкая специфичность этого признака (7,7%) привела к трудности в дифференциальной диагностике с другими эрозивными артропатиями и в ряде случаев приводила к ЛП-результатам у пациентов с псориатическим и ревматоидным артритом (РА). Данные факты согласуются с литературными источниками о сложности дифференциации не только мягкотканых компонентов тофусов, но и неспецифических эрозий (Matos et al., 2020; Keelapattu et al., 2024).

При анализе диагностической эффективности стандартной КТ в выявлении подагрического артрита проводилась комплексная оценка всех исследуемых областей у 112 пациентов (таблица 7). Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о низкой чувствительности (60,3%) и достаточно высокой специфичности (92,3%) стандартной КТ в выявлении подагрического артрита, что также отражено в исследовании Gessl et al. (2024).

В качестве иллюстрации ИП-, ЛП-результатов лучевых симптомов, выявленных при КТ-исследовании, представлен рисунок 2.



Рисунок 2 – ИП-результат: эрозия с нависающим краем (черная стрелка) и тофус (белая стрелка) в области 1-го, 5-го плюснефаланговых суставов (а). ЛП-результат: мелкие эрозии костей запястья (черные стрелки), округлый костный дефект в полулунной кости, имитирующий симптом «пробойника» (белая стрелка) у пациента с кальций-пирофосфатным артритом

По аналогии с подходом к оценке диагностической эффективности рентгенографии в диагностике ПА в зависимости от стажа заболевания был выполнен анализ результатов КТ у пациентов со стажем до 5 лет (n=22), после 5 лет (n=30) и после 10 лет (n=21) (таблица 8).

Таблица 8 – Данные о результатах рутинной КТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Результат (n)		Чувствительность, % (95%ДИ)*
	ИП	ЛО	
До 5 лет	10 (45,5%)	12 (54,5%)	45,5 (26,9–65,3)
От 5 до 10 лет	19 (63,3%)	11 (36,7%)	63,3 (43,9–79,5)
Более 10 лет	15 (71,4%)	6 (28,6%)	71,4 (51,3–86,8)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Отмечается снижение чувствительности метода в зависимости от длительности болезни. Наименьшим показателем обладает группа пациентов с продолжительностью заболевания до 5 лет (45,5%). Нельзя не отметить разницу в показателях чувствительности между настоящим исследованием (45,5%) и данными Davies et al. (2019) (26%). Вероятно, это расхождение заключается в более частом выявлении в нашей работе типичных эрозий, ассоциированных с тофусами, о связи которых также заявляет вышеупомянутый автор. Принципиальное отличие

обусловлено разной продолжительностью заболевания у исследуемых пациентов. В упомянутой ранее работе стаж болезни пациентов не превышал 2,5 лет.

### Магнитно-резонансная томография

В настоящем исследовании было проанализировано 94 локализации 37 пациентов с подозрением на подагрический артрит, из которых 59 локализаций обнаружены у пациентов (n=25) с верифицированным диагнозом подагрического артрита, тогда как 35 локализаций относились к пациентам из группы сравнения (n=12) (таблица 9).

В соответствии с задачами данной диссертационной работы была проведена оценка диагностической эффективности выявленных МР-паттернов (таблица 10).

Таблица 9 – Изменения, выявленные при МРТ суставов пациентов основной группы и группы сравнения

МРТ-симптом	Количество локализаций с выявленными изменениями			
	Группа с ПА (n=59)		Группа без ПА (n=35)	
	Кол-во	%	Кол-во	%
Эрозии с нависающими склеротическими краями	4	6,7	18	51,4
Эрозии без нависающих краев	38	64,4	15	42,8
Тофусы	32	64,4	11	22,8

Таблица 10 – Результаты диагностической эффективности МР-симптомов у пациентов основной группы и группы сравнения

МРТ-симптом	Se, % (95%ДИ)*	Sp, % (95%ДИ)*	Точность, % (95%ДИ)*
Эрозии с нависающими склеротическими краями	13,6 (6,4–25,1)	54,2 (41,1–66,8)	25,5 (17,8–34,9)
Эрозии без нависающих краев	76,2 (63,4–85,4)	60,0 (45,2–73,4)	70,2 (60,4–78,5)
Тофусы	55,9 (43,3–67,8)	65,7 (51,8–77,4)	59,5 (49,7–68,6)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Клинический пример истинно положительных и ложноотрицательного результатов МР-паттернов подагрического артрита представлен на рисунке 3.

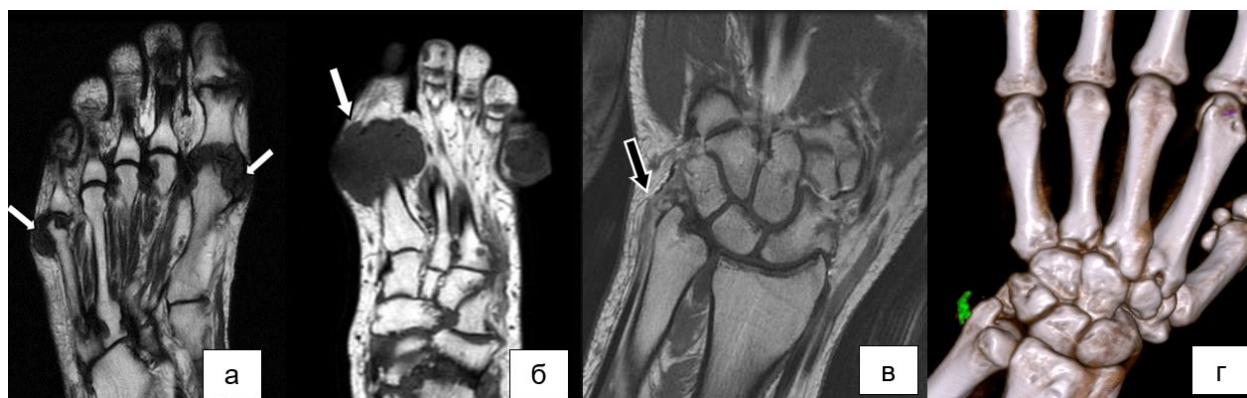


Рисунок 3 – ИП-результаты выявления эрозий без нависающих краев 1-го, 5-го плюснефаланговых суставов (а) и тофусов (белые стрелки) в области 1-го, 5-го плюснефаланговых суставов (а,б). ЛО-результат в выявлении тофуса: на нативной МРТ в T<sub>1</sub>ВИ (в) правого лучезапястного сустава определяется локальное утолщение синовиальной оболочки в области шиловидного отростка локтевой кости (белые стрелки), тофус не визуализируется. При ДЭКТ в данной анатомической области определяются кристаллы МУН, закодированные зеленым цветом, объемом 0,14 см<sup>3</sup> (г)

В ходе анализа было выявлено очевидное преимущество чувствительности (55,9%) МРТ в выявлении тофусов по сравнению с рентгенологическими методами диагностики (рентгенография – 12,9%, КТ – 21,8%). Достаточно высокая диагностическая эффективность метода в выявлении тофусов напрямую повлияла на более высокую чувствительность (76,2%) и специфичность (60,0%) в выявлении эрозий без нависающих краев за счет их ассоциации. Наличие подобных МР-паттернов подагрических эрозий обусловлено, с одной стороны, недостаточной сформированностью реактивной кальцинации надкостницы, с другой стороны – проблемами в МР-визуализации кальцинированных структур. При этом связь эрозий и тофусов подтверждена в исследовании McQueen et al. (2014).

При анализе диагностической эффективности МРТ в выявлении подагрического артрита проводилась комплексная оценка зон интереса у 37 пациентов (таблица 11).

Таблица 11 – Диагностическая эффективность МРТ в выявлении подагрического артрита

Результат (n)				Диагностическая эффективность (95%ДИ)*				
ИП	ИО	ЛО	ЛП	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	Точность, %
14	9	11	3	56,0 (35,3–74,9)	75,0 (42,8–94,5)	82,4 (59,5–94,3)	45,0 (24,7–66,8)	62,2 (46,6–77,8)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Наше исследование показывает, что совокупная чувствительность (56,0%) метода превосходит чувствительность рентгенографии и стандартной КТ, однако уступает им в аспекте специфичности (75,0%) и точности (62,2%) за счет большого количества ЛП-результатов, обусловленных мелкими эрозиями с округлыми краями, имитирующими нависающие, наличием гранул симулирующие тофусы у пациентов без ПА, с чем также столкнулись Yang et al. (2022), а также упоминали в своих исследованиях Keelarattu et al. (2024).

Для проведения оценки чувствительности МРТ в диагностике подагрического артрита в зависимости от продолжительности болезни, пациенты были разделены на три группы: с длительностью болезни до 5 лет (n=4), от 5 до 10 лет (n=13) и более 10 лет (n=8) (таблица 12).

Таблица 12 – Данные о результатах МРТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Результат (n)		Чувствительность, % (95%ДИ)*
	ИП	ЛО	
До 5 лет	1 (25,0%)	3 (75,0%)	25,0 (0,63 - 80,6)
От 5 до 10 лет	8 (61,5%)	5 (38,5%)	61,5 (31,6 - 86,1)
Более 10 лет	5 (62,5%)	3 (37,5%)	62,5 (24,5 - 91,5)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Данные таблицы демонстрируют снижение чувствительности МРТ у пациентов с продолжительностью болезни до 5 лет (25,0%). В остальных группах показатели чувствительности являются сопоставимо умеренно низкими (61,5% и 62,5% соответственно). Снижение чувствительности связано с наибольшим процентом ложноотрицательных результатов (75,0%), которые обусловлены недостаточной сформированностью типичных признаков подагрического артрита, а именно наличием мелких тофусов и отсутствием четко выраженных нависающих склеротических краев у эрозий.

### Двухэнергетическая компьютерная томография

ДЭКТ-исследование выполнено 112 пациентам с подозрением на ПА, из которых у 73 был подтвержден данный диагноз, а у 39 – исключен. Сканирование выполнялось в области стоп, коленных суставов, кистей и локтевых суставов на гибридном компьютерном томографе Siemens Symbia Intevo Bold с использованием специализированного программного обеспечения Siemens Syngo.via. Результаты оценивались по наличию или отсутствию кристаллов МУН по данным ДЭКТ в зависимости от диагноза пациента: ИП-результат –

обнаружение кристаллов МУН хотя бы в одной из обследуемых анатомических областей у пациентов с верифицированным диагнозом ПА (n=59); ИО – отсутствие кристаллов МУН во всех исследованных зонах у пациентов без подтвержденного диагноза (n=35); ЛП-результат – наличие артефактов в виде уратоподобных пикселей у пациентов без ПА (n=4); ЛО – отсутствие визуализации кристаллов МУН у больных с верифицированным подагрическим артритом (n=14) (таблица 13).

В сравнении с ранее приведенными лучевыми модальностями показатели чувствительности, специфичности и точности ДЭКТ составили 80,8, 94,9 и 85,7% соответственно. Аналогичные результаты (Se – 81%, Sp – 91%) упоминаются в работе Wali et al. (2025), а также других авторов. На показатель специфичности повлияли ЛП-результаты, обусловленные наличием артефактов, которые симулировали кристаллы МУН. Эти артефакты соответствовали описанным в работах Park et al. (2020) и Shin et al. (2022), «комковым» артефактам, которые наиболее сложны для дифференциальной диагностики и достоверной интерпретации. На показатель чувствительности повлияли ЛО-результаты, вероятно, обусловленные малым объёмом кристаллов МУН, которые были недостаточно сформированы для визуализации.

Таблица 13 – Диагностическая эффективность ДЭКТ в выявлении кристаллов МУН у пациентов с подозрением на подагрический артрит

Результат (n)				Диагностическая эффективность (95%ДИ)*				
ИП	ИО	ЛО	ЛП	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	Точность, %
59	37	14	2	80,8 (70,3–88,3)	94,9 (87,2–100,0)	96,7 (89,6–99,2)	72,6 (60,7–84,5)	85,7 (79,2–92,2)

Примечание: \*ДИ – доверительный интервал

Клинический пример ИП- и ЛП-результата в выявлении кристаллов МУН по данным ДЭКТ представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – ИП-результат: множественные депозиты кристаллов МУН, закодированные зеленым цветом, суммарным объемом 13,56 см<sup>3</sup> (а). ЛП-результат: артефакты в области 1-го плюснефалангового сустава, головки 2-й плюсневой кости и ногтевого ложа 1-го пальца в виде уратоподобных пикселей у пациента с диагнозом остеоартроз (б)

Клинический пример ЛО-результата в выявлении кристаллов МУН по данным ДЭКТ представлен на рисунке 5.

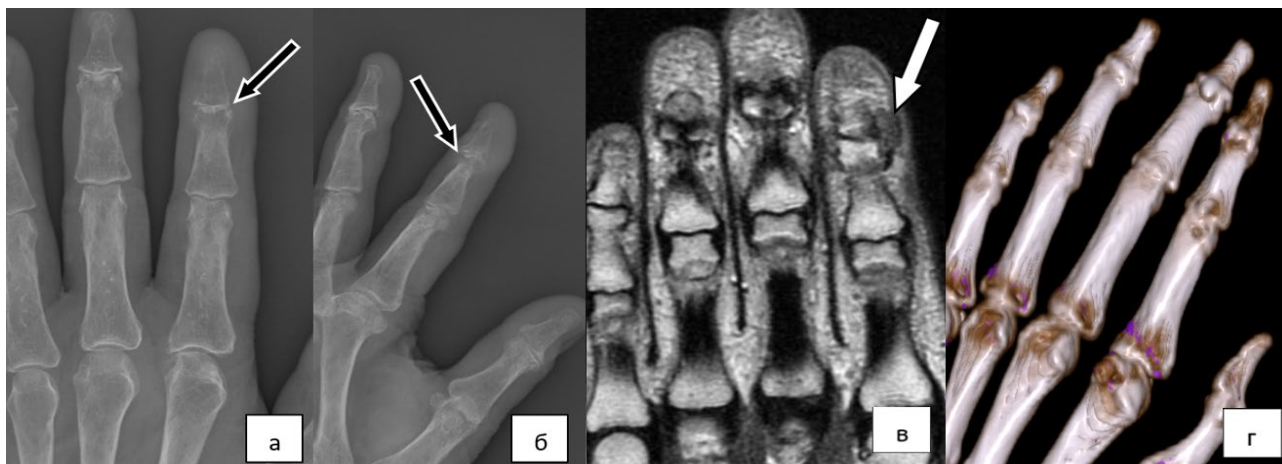


Рисунок 5 – ЛО-результат: эрозия дистального межфалангового сустава 2-го пальца правой кисти (а,б). Низкоинтенсивный на T<sub>2</sub>ВИ тофус по радиарной поверхности дистального межфалангового сустава 2-го пальца (в). Отсутствие кристаллов МУН по данным ДЭКТ (г)

Следующий этап работы состоял в оценке чувствительности метода в зависимости от продолжительности заболевания. Пациенты с верифицированным диагнозом ПА (n=59) были распределены на подгруппы: первая подгруппа с продолжительностью заболевания менее 5 лет (n=22), вторая подгруппа – от 5 до 10 лет (n=30) и третья подгруппа с продолжительностью заболевания более 10 лет (n=21). Данные о распределении результатов, выявленных при ДЭКТ, и чувствительность метода у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты оценки чувствительности ДЭКТ в диагностике подагрического артрита в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Результат (n)		Чувствительность, % (95%ДИ)*
	ИП	ЛО	
До 5 лет	15 (68,2%)	7 (31,8%)	68,2 (46,4–84,2)
От 5 до 10 лет	26 (86,7%)	4 (13,3%)	86,6 (70,3–94,7)
Более 10 лет	18 (85,7%)	3 (14,3%)	85,7 (64,5–95,8)

Примечание: \* ДИ – доверительный интервал

Несмотря на высокий показатель общей чувствительности (80,8%), наибольшее снижение данного параметра наблюдалось в группе пациентов с длительностью болезни до 5 лет (68,2%), что сопоставимо с данными исследования Zhang et al. (2020) (66,6%) и Kravchenko et al. (2022) (63,0%). Показатели, полученные другими исследователями, несколько отличались: у Gamala et al. (2019) чувствительность метода составила 55%, у Laurent et al. (2025) – 38%. Это расхождение, возможно, объясняется тем, что в указанных работах продолжительность заболевания у пациентов не превышала 6 недель и 1 года соответственно. Наблюдаемое снижение чувствительности метода на ранних стадиях заболевания объясняется максимальной частотой ЛО-результатов, зарегистрированных в данной когорте пациентов.

Очередным этапом работы стала статистическая обработка клинических данных. С целью выявления значимых различий между основной группой и группой сравнения был проведен сравнительный анализ с использованием соответствующих статистических методов (таблица 15).

Таблица 15 – Результаты сравнения характеристик пациентов основной и контрольной групп

Характеристика		Основная группа (n = 73)*	Группа сравнения (n = 39)*	p-value **
Пол	Мужской	60 (82%)	12 (31%)	<b>&lt;0,001</b>
	Женский	13 (18%)	27 (69%)	
Продолжительность заболевания, годы		7 (4 – 10)	4 (2 – 16)	0,4
Наличие кристаллов МУН по ДЭКТ	Да	59 (81%)	4 (10%)	<b>&lt;0,001</b>
	Нет	14 (19%)	35 (90%)	
Концентрация мочевой кислоты в крови, мкмоль/л		453,5±113,9	348,5±105,3	<b>&lt;0,001</b>
Примечания: * – n (%); медиана (Q1–Q3); среднее ± СО; ** – критерий согласия Пирсона $\chi^2$ ; U-критерий Манна – Уитни; точный критерий Фишера; двухвыборочный t-тест				

Для оценки влияния клинико-лабораторных показателей на вероятность обнаружения кристаллов моноурата натрия по данным ДЭКТ применен регрессионный анализ с учетом возраста, пола, уровня мочевой кислоты и продолжительности заболевания (таблица 16).

Как видно, результаты статистической обработки согласуются с общеизвестными эпидемиологическими исследованиями, свидетельствующими о значительной гендерной диспропорции в распространенности подагры с преобладанием заболеваемости среди мужского населения. Однако анализ показал, что пол, наряду с возрастом, не продемонстрировал значимой ассоциации с вероятностью визуализации кристаллов МУН при проведении ДЭКТ. Эти данные не упоминаются в рассмотренной научной литературе и мы предполагаем, что, хотя мужчины, действительно, чаще заболевают подагрой, после развития заболевания гендерные различия в характере и интенсивности уратного отложения в суставах нивелируются.

Таблица 16 – Результаты однофакторного и многофакторного анализа логистической регрессии

Характеристика		Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
		ОШ (95% ДИ)*	p-value	ОШ (95% ДИ)*	p-value
Возраст		1,03 (0,98–1,07)	0,24		
Пол	мужской	–			
	женский	3,32 (0,57–63,3)	0,27		
Продолжительность заболевания, лет		1,16 (1,02–1,39)	<b>0,050</b>	1,19 (1,03–1,43)	<b>0,033</b>
Концентрация мочевой кислоты в крови, мкмоль/л		1,01 (1,00–1,01)	<b>0,012</b>	1,01 (1,00–1,01)	<b>0,009</b>
Примечание: * ОШ – отношение шансов; ДИ – доверительный интервал					

Основной целью статистического анализа, в рамках которого был применен регрессионный анализ, являлось определение клинических показателей, ассоциированных с выявлением депозитов кристаллов МУН при помощи двухэнергетической компьютерной томографии. Это позволит проводить стратификацию пациентов на ДЭКТ-исследование, что повысит информативность метода.

Однофакторный анализ показал, что увеличение длительности заболевания достоверно повышает вероятность выявления кристаллических депозитов (ОШ = 1,16; 95% ДИ: 1,02–1,39; p = 0,050). Аналогичная положительная связь наблюдалась для уровня мочевой кислоты в

сыворотке крови (ОШ = 1,01; 95% ДИ: 1,00-1,01;  $p = 0,012$ ), в то время как факторы «пол» и «возраст» не продемонстрировали статистически значимой ассоциации.

Многофакторный анализ с поправкой на вмешивающиеся переменные подтвердил независимую прогностическую ценность двух ключевых параметров. Продолжительность заболевания (ОШ = 1,19; 95% ДИ: 1,03-1,43;  $p = 0,033$ ) и концентрация мочевой кислоты в крови (ОШ = 1,01; 95% ДИ: 1,00-1,01;  $p = 0,009$ ) по-прежнему сохраняются значимыми предикторами. При этом рост уровня мочевой кислоты на 1 мкмоль/л увеличивает шансы обнаружения кристаллов на 0,8%, а каждый дополнительный год – на 19%.

Наблюдаемая зависимость описывается уравнением

$$P = 1 / (1 + e^{-l}) \times 100\%$$

$$l = -3,203 + 0,0081X_{\text{ур.мк}} + 0,174X_{\text{длит.заболевания}},$$

где  $P$  – вероятность обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ,  $l$  – логарифм шансов;  $X_{\text{ур.мк}}$  – уровень мочевой кислоты в крови, мкмоль/л;  $X_{\text{длит.заболевания}}$  – длительность заболевания, годы.

Для определения диагностической ценности регрессионной модели выполнен ROC-анализ (рисунок 6).

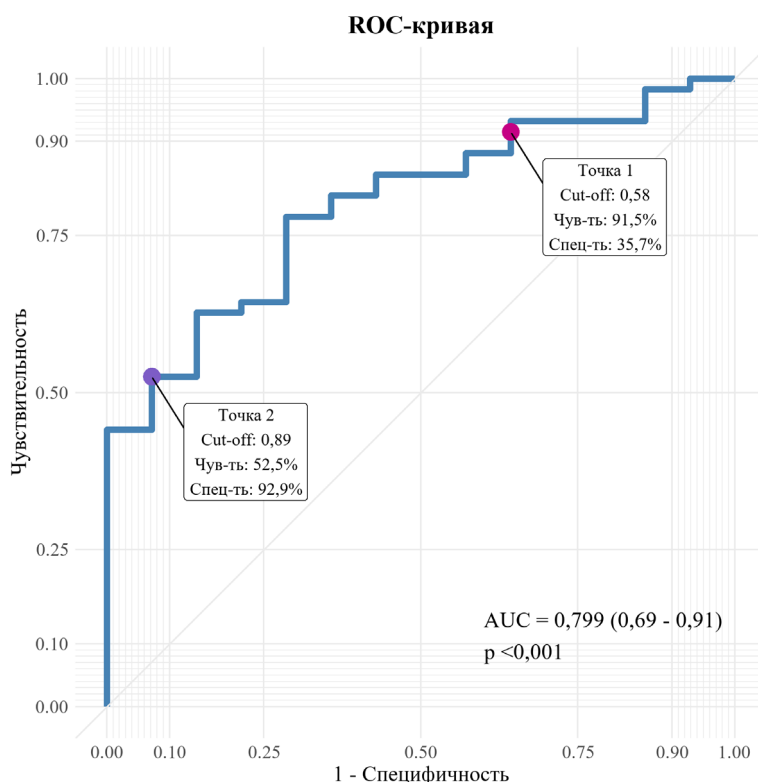


Рисунок 6 – Графическое изображение ROC-анализа модели логистической регрессии

Для оценки диагностических характеристик прогностической модели и анализа между чувствительностью и специфичностью были выбраны две ключевые точки на Roc-кривой.

- Точка 1 (0,58), соответствующая чувствительности 91,5% и специфичности 35,7% для минимизации ложноотрицательных результатов. Данное значение можно рассматривать как нижний порог: если расчетное значение модели ниже 0,58, вероятность обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ низкая. При этом процент пациентов со значениями ниже 0,58 составил 18%;

- Точка 2 (0,89), соответствующая чувствительности 52,5% и специфичности 92,9% для минимизации ложноположительных результатов. Данное значение можно рассматривать как

верхних порог: если расчетное значение выше 0,89, вероятность обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ высокая.

Таким образом, расчетные значения, находящиеся между 0,58 и 0,89, образуют диапазон средней вероятности обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ.

Дальнейшим этапом исследования стал анализ связи между уровнем мочевой кислоты в крови и объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ у пациентов, страдающих ПА, с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Дополнительно был проведен стратифицированный анализ с использованием метода Холма в подгруппах пациентов с разной длительностью заболевания: менее 5 лет, 5–10 лет и более 10 лет (таблица 17).

Таблица 17 – Результат корреляционного анализа между уровнем МК в сыворотке крови и объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ

Количество пациентов с выявленными кристаллами МУН по данным ДЭКТ(n)	Коэффициент корреляции Спирмена, r	p-value	p-value*
Общее количество (n=59)	0,18	0,18	0,73
С продолжительностью болезни до 5 лет (n=15)	0,10	0,71	0,74
С продолжительностью болезни 5–10 лет (n=26)	0,18	0,37	0,74
С продолжительностью болезни более 10 лет (n=18)	0,32	0,020	0,073
Примечание: *коррекция множественных сравнений выполнена методом Холма			

Несмотря на то, что гиперурикемия способствует образованию и росту кристаллов МУН, по данным исследования Afzal et al. (2025), в настоящей работе обнаружилось отсутствие корреляционной связи между уровнем МК в крови и объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ. Проведенный в рамках диссертационного исследования корреляционный анализ связей между концентрацией мочевой кислоты в сыворотке крови и количественным объемом кристаллов МУН при ДЭКТ-исследовании, продемонстрировал отсутствие достоверной корреляционной зависимости ( $r=0,18$  при  $p=0,73$ ).

Для углубленного изучения возможных взаимосвязей когорту пациентов стратифицировали по длительности заболевания. В группе с продолжительностью заболевания до 5 лет не было выявлено статистически значимой связи ( $r=0,10$  при  $p=0,74$ ). Подобная тенденция, вероятно, отражает специфику раннего патогенеза и латентный характер кристаллообразования в дебюте заболевания. В группе с продолжительностью заболевания от 5 до 10 лет результаты оказались аналогичными ( $r=0,18$  при  $p=0,74$ ), а в когорте пациентов с продолжительностью болезни более 10 лет была выявлена слабая, статистически незначимая связь ( $r=0,35$  при  $p=0,073$ ). Примечательно, что при анализе динамики корреляционных коэффициентов в различных временных группах прослеживается определенная закономерность: с увеличением длительности заболевания отмечается рост силы связи между уровнем мочевой кислоты и объемом кристаллических отложений. Однако даже в группе с максимальным стажем болезни эта взаимосвязь не достигает статистической значимости, что может указывать на сложный, многофакторный характер процессов кристаллообразования при подагре. Анализ продемонстрировал отсутствие достоверной корреляционной зависимости между концентрацией мочевой кислоты в сыворотке крови и количественным объемом кристаллов МУН, определяемым методом ДЭКТ (коэффициент корреляции  $r=0,24$  при  $p=0,13$ ). При длительности заболевания менее 5 лет выявлена слабая отрицательная корреляция ( $r=-0,14$ ;  $p=0,58$ ), что может отражать особенности начального этапа формирования тофусов. При длительности болезни 5–10 лет обнаружена слабая положительная корреляция ( $r=0,25$ ;  $p=0,38$ ). Наиболее выраженная положительная корреляция выявлена при длительности заболевания более 10 лет ( $r=0,46$ ;  $p=0,068$ ), однако статистическая значимость не достигнута при  $p<0,05$ .

Полученные результаты обосновывают совершенствование клинических подходов в диагностике подагрического артрита, при которых пациенты с длительным стажем

заболевания и стойкой гиперурикемией нуждаются в особом внимании при планировании ДЭКТ-исследований.

Созданная в рамках данного исследования логистическая регрессионная модель имеет важное практическое значение: она способствует улучшению диагностической точности ДЭКТ при обнаружении кристаллов моноурата натрия за счет категоризации пациентов и обеспечивает прогнозирование вероятности выявления уратных отложений при данном методе визуализации.

### **Совершенствование диагностического алгоритма у пациентов с подозрением на подагру**

В клинических рекомендациях по подагре диагноз устанавливается на основании классификационных критериев, разработанных ACR/EULAR. Диагноз ставится при обнаружении кристаллов МУН в синовиальной жидкости или содержимом тофуса, либо при наличии совокупности клинических, лабораторных и инструментальных признаков заболевания.

Исходя из высокой коморбидности подагры, в процессе диагностики учитываются факторы риска. Особое внимание уделяется жалобам пациента и физикальному осмотру, а именно наличию внезапной атаки артрита с быстрым развитием выраженной боли и воспалением, сопровождающимся отеком и эритемой, в особенности если типичные симптомы приступа острого артрита затрагивают суставы стоп, а именно 1-го плюснефалангового. Однако следует помнить о менее типичных локализациях (голеностопные суставы, суставы верхних конечностей, межфаланговые суставы) и наличии несбивочного характера болей или проявлений артрита, которые могут имитировать другие ревматологические заболевания суставов, такие как ревматоидный артрит, псориатический артрит, септический артрит или остеоартроз.

Вторым этапом диагностики являются лабораторные данные, включающие исследование синовиальной жидкости или содержимого тофуса на предмет наличия кристаллов МУН, а также определение концентрации мочевой кислоты в крови. Выявление кристаллов МУН в пунктате является золотым стандартом, однако чувствительность данного метода может снижаться до 70% в зависимости от стадии развития болезни.

Вместе с тем очевидны трудности забора материала из мелких суставов для адекватного микроскопического анализа, а также возможность сопутствующих осложнений в виде инфицирования или кровотечения. Определение сывороточного уровня мочевой кислоты – ключевой, но не абсолютный диагностический критерий подагры. Его диагностическая ценность ограничена тем, что гиперурикемия может протекать бессимптомно, а во время острого подагрического приступа показатели МК часто остаются в пределах референсных значений.

При невозможности проведения пункции для забора материала и учитывая риски при данной манипуляции, а также вышеуказанные проблемы, связанные с диагностической специфичностью МК в крови, диагноз рекомендуется ставить на основании других критериев, включенных в клинические рекомендации.

В диагностические критерии входят лучевые методы диагностики, а в последние годы в алгоритм включен ДЭКТ. Основываясь на высокой диагностической эффективности метода, которая имела место и в настоящем исследовании, мы предлагаем использование ДЭКТ в качестве диагностики пациентов с подозрением на подагрический артрит при отрицательном результате оценки поляризационной микроскопии или невозможности проведения диагностической пункции. Однако, учитывая высокую стоимость проведения данного исследования и проблемы индикации кристаллов МУН у пациентов с небольшим стажем заболевания, нами рекомендуется использование прогностической модели, разработанной в ходе диссертационной работы, для стратификации пациентов, которая определит не только необходимость и целесообразность проведения ДЭКТ-исследования для избегания дополнительной лучевой нагрузки на пациента, но и повысит информативность метода.

В связи с этим в целях оптимизации ранней диагностики предлагается использовать прогностическую модель, интегрирующую данные о продолжительности болезни и концентрации мочевой кислоты в крови для оценки вероятности обнаружения кристаллов моноурата натрия при ДЭКТ-исследовании. Высокая и средняя вероятность обнаружения депозитов МУН будет основанием для направления пациента на ДЭКТ-исследование. В случае получения результата, указывающего на низкую вероятность наличия депозитов, верификация диагноза должна проводиться в соответствии с общепринятыми клиническими критериями (рисунок 7).

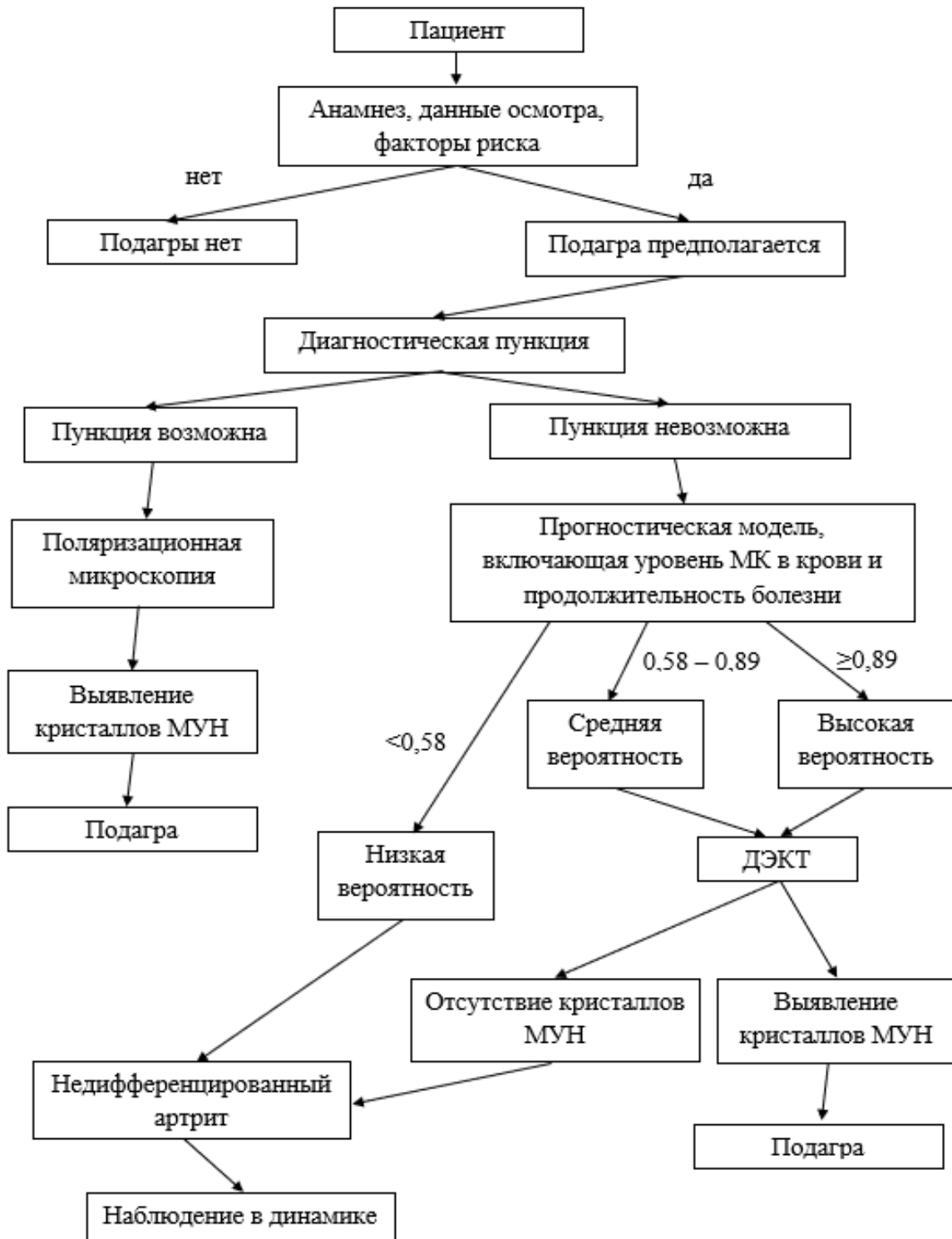


Рисунок 7 – Оптимизированный алгоритм диагностики пациентов с подозрением на подагрический артрит с включением прогностической модели

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о высокой диагностической ценности ДЭКТ в ведении пациентов с подозрением на подагрический артрит. Особенностью ДЭКТ является ее диагностическая значимость независимо от уровня мочевой кислоты в сыворотке крови. Метод позволяет подтвердить диагноз у пациентов с нормальным уровнем урикемии и исключить подагрический артрит у больных с гиперурикемией.

В настоящей работе было выявлено отсутствие связи между сывороточной концентрацией мочевой кислоты в крови и объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ, в том числе в различные сроки течения болезни. При этом исследование подтвердило, что уровень мочевой кислоты и продолжительность заболевания служат значимыми предикторами наличия уратных отложений по данным ДЭКТ.

Разработанная в ходе исследования модель логистической регрессии, учитывающая эти показатели, представляет значительный практический интерес. Ее применение в клинической практике позволит не только прогнозировать результаты ДЭКТ-исследования, но и оптимизировать диагностический алгоритм при подозрении на подагрический артрит. Это в свою очередь будет способствовать более точной диагностике и своевременному назначению патогенетической терапии, что особенно важно для предотвращения необратимых изменений суставов и сохранения качества жизни пациентов.

Включение модели дополняет существующие диагностические алгоритмы и открывает новые возможности для раннего выявления заболевания, что имеет принципиальное значение для профилактики тяжелых осложнений и улучшения долгосрочных результатов лечения.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ диагностической информативности лучевых симптомов подагрического артрита показал, что наибольшей точностью в диагностике подагры при МРТ обладают симптомы эрозий без нависающих краев (70,2%) и мягкотканый компонент тофуса (59,5%), при КТ – эрозии с нависающими краями (60,2%) и симптом «пробойника» (52,5%), при рентгенографии – эрозии с нависающими склеротическими краями (56,7%).

2. Несмотря на высокую специфичность отдельных симптомов при используемых лучевых модальностях, общая диагностическая точность рентгенографии, компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии как методов диагностики подагрического артрита является низкой – в диапазоне от 62,5%, 66,9% и 62,2% соответственно.

3. Двухэнергетическая компьютерная томография обладает высокой точностью (85,7%) в определении подагрического артрита путем выявления кристаллов МУН, превосходя аналогичный показатель рентгенографии, стандартной КТ и МРТ (62,5%, 66,9% и 62,2% соответственно). Преимущество сохраняется для чувствительности метода у пациентов с продолжительностью заболевания до 5 лет (68,2% по сравнению с 35,7%, 45,5% и 25,0% соответственно).

4. Отсутствует взаимосвязь между концентрацией мочевой кислоты в крови и количественным объемом кристаллов моноурата натрия по данным ДЭКТ у больных ПА, в том числе в различные сроки течения болезни. Вероятность обнаружения кристаллов моноурата натрия по данным ДЭКТ не зависит от пола, несмотря на гендерные различия в заболеваемости подагрой.

5. Разработанная на основании логистической регрессии модель, включающая концентрацию мочевой кислоты в крови и продолжительность заболевания, обеспечивает прогноз вероятности обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ с включением ее в лучевой алгоритм для оптимизации диагностического процесса у больных с подозрением на ПА.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Двухэнергетическая компьютерная томография рекомендуется при невозможности проведения диагностической пункции и отрицательном результате данных поляризационной микроскопии при средней или высокой вероятности обнаружения кристаллов МУН по данным прогностической модели.

2. Для прогноза вероятности обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ следует использовать модель логистической регрессии вида  $P = 1 / (1 + e^{-L}) \times 100\%$ ,  $L = -3,203 + 0,0081X_{\text{ур.мк}} + 0,174X_{\text{длит.заболевания}}$ , где  $P$  – вероятность обнаружения кристаллов МУН по данным ДЭКТ;  $L$  – логарифм шансов;  $X_{\text{ур.мк}}$  – уровень мочевой кислоты в крови, мкмоль/л;  $X_{\text{длит.заболевания}}$  – длительность заболевания, годы.

3. Прогнозируемая вероятность обнаружения кристаллов МУН при величине  $P$  модели логистической регрессии от 0,58 до 0,89 и  $\geq 0,89$  следует расценивать как среднюю и высокую соответственно.

4. Величину прогнозируемой вероятности обнаружения кристаллов МУН при величине  $P$  модели логистической регрессии менее 0,58 следует считать низкой.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Современные методы визуализации подагрических тофусов / Т. Ким, В. Д. Завадовская, И. Ю. Дегтярев, М. А. Замышевская, В. Д. Удодов, М. А. Зоркальцев, А. К. Траудт // **Медицинская визуализация**. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 112–132. – URL: <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1382>.

2. Применение радиомики при заболеваниях костно-мышечной системы: научный обзор / М. О. Плешков, М. А. Замышевская, Е. В. Кучинский, X. Jin, J. Zhang, В. Д. Завадовская, М. А. Зоркальцев, Т. В. Ким, Д. А. Погонченкова, В. Д. Удодов, И. В. Толмачев // **Digital Diagnostics**. – 2025. – Т. 6, № 1. – С. 78–96. – DOI: <https://doi.org/10.17816/DD633978>.

3. Двухэнергетическая компьютерная томография в диагностике подагры / Т. В. Ким, В. Д. Удодов, Д. А. Погонченкова, Е. И. Фёдорова, И. Ю. Дегтярев, А. О. Балабенко, М. А. Зоркальцев, В. Д. Завадовская // **Вестник СурГУ. Медицина**. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 54–60. – URL: <https://doi.org/10.35266/2949-3447-2025-1-6>.

4. Ким, Т. В. Роль двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике подагры / Т. В. Ким // Сборник тезисов XVI международного конгресса «Невский радиологический форум» (11-12 апреля 2025 г., Санкт-Петербург). – СПб. : Балтийский медицинский образовательный центр, 2025. – С. 268–269. – ISBN 978-5-6053730-0-1.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
ДИ	– доверительный интервал
ДЭКТ	– двухэнергетическая компьютерная томография
ИО	– истинно отрицательный
ИП	– истинно положительный
КТ	– компьютерная томография
ЛО	– ложноотрицательный
ЛП	– ложноположительный
МК	– мочевая кислота
МРТ	– магнитно-резонансная томография
МУН	– моноурат натрия
ОШ	– отношение шансов
ПА	– подагрический артрит
РА	– ревматоидный артрит
СО	– стандартное отклонение
T <sub>1</sub> ВИ	– T <sub>1</sub> -взвешенное изображение
T <sub>2</sub> ВИ	– T <sub>2</sub> -взвешенное изображение
УЗИ	– ультразвуковое исследование
Acc	– точность
ACR	– American College of Rheumatology Pediatric (Американская коллегия ревматологов)
EULAR	– European League Against Rheumatism (Европейская антиревматическая лига)
FSat	– Fat saturation
ILAR	– International League of Associations for Rheumatology
MIP	– проекция максимальной интенсивности
MPR	– многоплоскостная реформация
NPV	– негативная прогностическая ценность
PPV	– положительная прогностическая ценность
Se	– чувствительность
Sp	– специфичность

*Научное издание*

**Ким Тхе Ван**

**ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ  
ПОДАГРИЧЕСКОГО АРТРИТА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

кандидата медицинских наук

---

Подписано в печать 08.04.2026 г. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ №

---