

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*На правах рукописи*

КИМ ТХЕ ВАН

**ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ  
В ДИАГНОСТИКЕ ПОДАГРИЧЕСКОГО АРТРИТА**

3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук, профессор  
Завадовская Вера Дмитриевна

Томск-2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1 Лучевые методы диагностики.....	16
1.1.1 Рентгенография .....	16
1.1.2 Ультразвуковое исследование .....	17
1.1.3 Магнитно-резонансная томография .....	20
1.1.4 Ядерная медицина .....	22
1.1.5 Рутинная компьютерная томография.....	24
1.1.6 Двухэнергетическая компьютерная томография.....	25
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	31
2.1 Общая характеристика пациентов .....	31
2.2 Методы обследования пациентов.....	36
2.2.1 Клинико-anamнестический метод.....	36
2.2.2 Лабораторные методы исследования .....	37
2.2.3 Лучевые методы исследования.....	38
2.2.4 Статистические методы обработки полученных результатов .....	42
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	44
3.1 Результаты рентгенографии.....	44
3.2 Результаты рутинной компьютерной томографии .....	53
3.3 Результаты магнитно-резонансной томографии.....	60
3.4 Сопоставление результатов рентгенографии, КТ и МРТ в оценке лучевых симптомов подагрического артрита.....	67
3.5 Результаты двухэнергетической компьютерной томографии .....	68
3.6 Сопоставление результатов диагностической эффективности рентгенографии, КТ, МРТ и ДЭКТ в диагностике подагрического артрита .....	74
3.7 Сопоставление результатов рентгенографии, КТ, МРТ и ДЭКТ в зависимости от продолжительности заболевания .....	77

3.8	Определение влияния клинико-лабораторных данных на результаты ДЭКТ-исследования у пациентов с подагрическим артритом .....	78
3.8.1	Модель логистической регрессии с определением предикторов выявления наличия кристаллов МУН по данным ДЭКТ .....	81
3.8.2	Оценка диагностической эффективности регрессионной модели .....	83
3.9	Определение характера связей между объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ и клинико-лабораторным данным .....	86
3.10	Совершенствование диагностического алгоритма у пациентов с подагрой.....	88
Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ.....		92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....		104
ВЫВОДЫ .....		106
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....		107
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....		108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....		110

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность

Подагрический артрит представляет собой наиболее распространенную форму кристаллической артропатии, патогенез которой связан с отложением кристаллов моноурата натрия (МУН) в суставах и окружающих мягких тканях (Елисеев М., 2024; 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; Brahmhbhatt P., 2022; Fukuda T., 2025; Lacaita P., 2025). Такая возможность может обеспечить принципиально новый уровень точности диагностики, что особенно важно для раннего выявления заболевания и мониторинга эффективности терапии.

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; Мершина Д., 2023; Vlahos I., 2021; Dell'Aversana S., 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: инициирование 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; Pârvănescu

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 о недостаточном объеме для адекватного анализа (Reijnierse M. et al., 2022).

Между тем 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 исследования** – 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**

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

2. 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.

## **Практическая значимость**

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 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 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**

Методологическую базу диссертационного исследования составили современные теоретические и практические разработки в области лучевой диагностики – как отечественные, так и зарубежные. Работа выполнялась с применением комплексного подхода, включающего клинические, инструментальные, аналитические и статистические методы исследования, реализованные в несколько последовательных этапов.

На начальной стадии исследования был проведен всесторонний анализ научной литературы российских и международных авторов, посвященной вопросам лучевой диагностики подагрического артрита. Особый акцент делался на изучении диагностических возможностей при различных стадиях течения заболевания – от начальных проявлений до хронических форм патологического процесса.

В рамках клинико-инструментального этапа исследования проводилась комплексная оценка диагностической эффективности различных методов лучевой диагностики (рентгенографии, КТ, МРТ и ДЭКТ) у пациентов с разной продолжительностью заболевания. Особое внимание уделялось сравнительному анализу возможностей каждого из методов в выявлении патологических изменений на различных стадиях патологического процесса.

Заключительный аналитико-статистический этап работы включал 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 (выявлением кристаллов моноурата натрия) и показателями клинико-лабораторного обследования пациентов.

## **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 вариабельна 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.

## **Апробация работы**

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 полученных результатов в практику**

Полученные результаты применяются в работе отдела лучевой диагностики и терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, в учебном процессе кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России.

## **Публикации**

По теме диссертации опубликованы 4 работы, из них 3 статьи изданы в научных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

### **Личное участие автора**

Личное участие автора заключалось в разработке методологии, планировании и непосредственном выполнении всех этапов работы. Это включало изучение литературы, отбор пациентов, формирование и верификацию базы данных, проведение исследований, а также анализ и статистическую интерпретацию результатов. Научная апробация работы, включая написание статей, тезисов и выступления с докладами, выполнена автором лично.

### **Структура и объем диссертации**

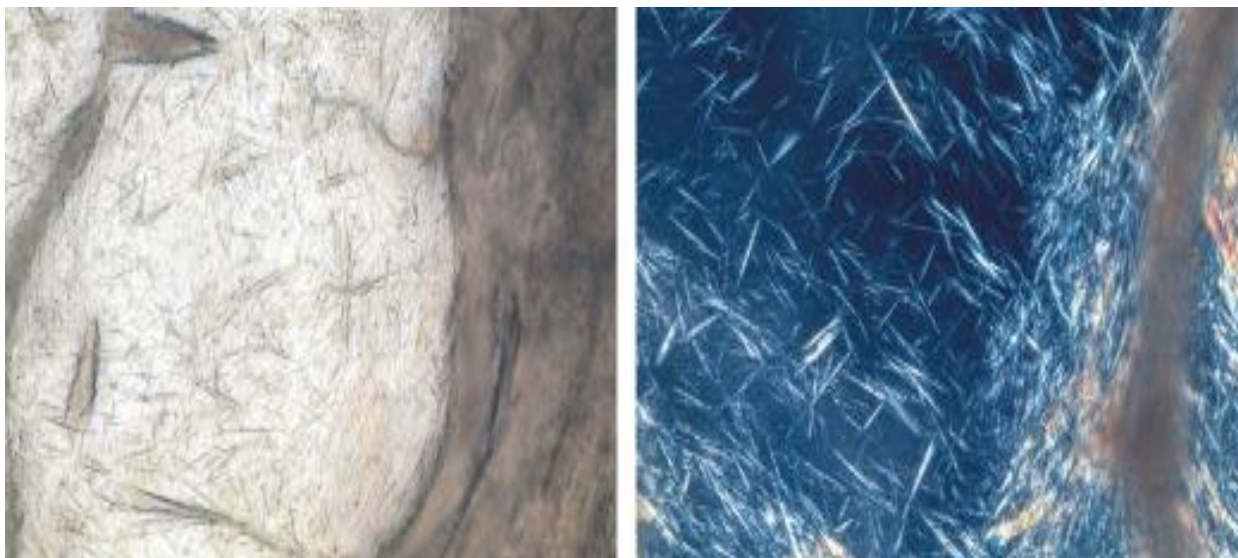
Диссертация изложена на 127 страницах машинописного текста, содержит 40 таблиц, иллюстрирована 18 рисунками и состоит из введения, обзора литературы, материала и методов, результатов собственных исследований, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Библиографический указатель содержит 153 литературных источника, из которых 19 отечественных и 134 зарубежных.

## Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Подагра – это системное заболевание, вызванное нарушением пуринового обмена, характеризующееся отложением кристаллов моноурата натрия в суставах и околоуставных мягких тканях и развивающимся в связи с этим воспалением у лиц с гиперурикемией (ГУ), обусловленное внешне средовыми и/или генетическими факторами [8; 13; 56; 88; 100]. Гиперурикемия является ключевым фактором в процессе кристаллизации МУН и развитии клинических проявлений подагры – подагрического артрита (ПА), его острых приступов, а также хронической тофусной формы при отсутствии адекватной уратоснижающей терапии [26]. Однако клинические наблюдения показывают, что даже при стойком повышении уровня мочевой кислоты в крови выше 600 мкмоль/л (10 мг/дл) лишь у 48,57% пациентов в течение 15 лет наблюдения развиваются характерные симптомы заболевания [47]. ПА занимает лидирующее положение среди кристалл-индуцированных артропатий, с преимущественной локализацией патологического процесса в первом плюснефаланговом сочленении [2, 23]. Типичный острый ПА манифестирует резкой болью, сопровождающейся воспалительными изменениями в виде отека и покраснения периартикулярных тканей, что в некоторых случаях требует дифференциальной диагностики с инфекционным артритом. Продолжительность атаки обычно ограничивается периодом от нескольких дней до двух недель с последующим полным разрешением симптоматики [134]. При хронической форме подагры формируются характерные тофусные образования, представляющие собой локальные депозиты кристаллов МУН. Гистологически они состоят из фиброзно-сосудистой стромы, содержащей центральное скопление уратных кристаллов, окруженное воспалительной грануляционной тканью [3, 36, 115]. Персистирующие тофусные депозиты оказывают деструктивное влияние на прилегающие мягкотканые структуры, включая синовиальную оболочку и подлежащую костную ткань, что в конечном итоге приводит к формированию костных эрозий различной степени тяжести [146].

Анализ современных литературных источников последних десяти лет подчеркнул актуальность проблем диагностических подходов к верификации подагрического артрита, что особенно актуально для ранних стадий заболевания [9, 27, 36, 37, 65, 95, 97, 119, 135].

Для установления диагноза подагрического артрита применяется анализ аспирированной синовиальной жидкости, который является «золотым стандартом» в диагностике данного заболевания [20]. При микроскопическом исследовании синовиальной жидкости с использованием компенсированного поляризационного света кристаллы МУН демонстрируют характерные для них признаки: отрицательное двойное лучепреломление и игольчатую форму (рисунок 1) [8, 87, 99].



а

б

Рисунок 1 – Микроскопия синовиальной жидкости: игольчатые кристаллы МУН (а); с двойным лучепреломлением в поляризационном свете (б). 400-кратное увеличение [110]

Тем не менее применение этой методики сопряжено с определенными ограничениями и рисками, обусловленными ее инвазивным характером: риск бактериальной контаминации с последующим развитием инфекционно-воспалительного процесса, возможность травматизации внутрисуставных анатомических структур и вероятность возникновения гемартроза, а также

небольшой объем суставного выпота, необходимого для проведения анализа и нетипичной локализации [99, 121].

В случае невозможности проведения артроцентеза применяется комплексный подход, включающий анализ симптоматики, лабораторных маркеров и визуализационных данных согласно критериям, разработанным Американской коллегией ревматологов и Европейской антиревматической лигой (ACR/EULAR) и одобренным для использования в клинической практике Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [10].

Одним из важнейших лабораторных показателей является уровень мочевой кислоты (МК) в крови, так как она участвует в образовании и отложении кристаллов МУН в мягких тканях и суставах. Кристаллы моноурата натрия, формирующиеся в синовиальной жидкости и близлежащих тканях, выступают в качестве триггера острого подагрического артрита, запуская каскад иммунных реакций. Исходно происходит фагоцитоз кристаллов, повышение концентрации натрия в клетках, увеличивается компенсаторный приток воды в цитоплазму и набухание клеток. Параллельно резко уменьшается содержание калия, индуцируя активацию внутриклеточных инфламмасом, в результате чего синтезируется широкий спектр провоспалительных цитокинов, хемокинов, прежде всего интерлейкина-1 (ИЛ-1), а также ИЛ-6, ИЛ-8, ИЛ-18, фактора некроза опухоли (ФНО) и др. Их продукция способствует развитию острой массивной воспалительной реакции, вазодилатации, быстрой миграции к месту воспаления иммунных клеток, преимущественно нейтрофилов. Клинически это проявляется острым приступом артрита [12]. Мочевая кислота в сыворотке крови является маркером (одним из подтверждающих признаков заболевания), однако следует учитывать, что гиперурикемия может протекать бессимптомно, а острые приступы подагры нередко развиваются при нормальных показателях МК [1; 6; 10; 11; 13; 14; 38; 104].

## 1.1 Лучевые методы диагностики

Вышесказанное свидетельствует, что лабораторная диагностика не всегда способна достоверно подтвердить подагрический артрит, что обусловлено как ограниченной чувствительностью методов, так и техническими сложностями их выполнения. В этой связи ключевое значение в диагностике подагрического артрита приобретают современные неинвазивные методы визуализации, включающие весь спектр лучевых исследований: рентгенографию (РГ), УЗИ, КТ и МРТ [3, 15, 17, 39, 84, 113, 129].

### 1.1.1 Рентгенография

Современные литературные данные подчеркивают, что рентгенологическое исследование сохраняет свою ведущую роль в диагностике патологии опорно-двигательного аппарата, в том числе при подагре [14, 36, 49, 75, 108, 109, 113, 123]. Патогномоничными рентгенологическими признаками заболевания считаются костные эрозии округлой или овальной формы различных размеров с резко очерченными «изъеденными» краями, которые при больших размерах тофусов и длительном течении заболевания могут приводить к обширной по протяженности костной деструкции [74, 85]. При хронической подагре большие тофусы создают картину мягкотканых узловых периартикулярных уплотнений. Характерным для подагрических эрозий является наличие тонкого костного ободка, отходящего от кости и окружающего полностью или частично мягкотканый компонент тофуса. Подобная картина отражает периостальную реакцию как результат длительной параоссальной локализации тофуса и носит название «нависающие края».

Однако по данным разных авторов, недостаточно сформированные эрозивные изменения характеризуются низкой чувствительностью (12–20%) при высокой специфичности (95–96%) [99, 100]. В клиническом наблюдении, представленном Sanghavi et al. (2023), был описан показательный случай, когда стандартная рентгенография выявила костно-суставные изменения,

первоначально интерпретированные как проявления ревматоидного артрита (РА). Однако проведенное впоследствии двухэнергетическое компьютерное томографическое исследование позволило идентифицировать в этих же анатомических областях характерные отложения кристаллов МУН, что привело к правильной постановке диагноза [113].

Наличие эрозий малого размера (менее 5–10 мм) при подагрическом артрите создает значительные сложности для дифференциальной диагностики с ревматоидным артритом, псориатической артропатией и другими эрозивными поражениями. Важно отметить, что на начальных стадиях заболевания рентгенография часто не выявляет патологических изменений даже при наличии клинической симптоматики. Многочисленные исследования демонстрируют, что типичные рентгенологические изменения появляются лишь через 3–12 лет после манифестации болезни [1, 35, 36, 56]. Согласно данным Newberry et al. (2017), периартикулярные эрозии с признаками периостита обнаруживаются не ранее чем через 6–12 лет после первого острого приступа [97]. В соответствии с критериями ACR/EULAR (2015) рентгенологическая диагностика возможна преимущественно на стадии хронического подагрического артрита через 5–10 лет от дебюта заболевания [7]. Метод обладает относительно низкой чувствительностью (31%) при высокой специфичности (93%) в диагностике подагрического поражения суставов [36, 75], что подчеркивает необходимость комплексного подхода с использованием современных методов визуализации.

### **1.1.2 Ультразвуковое исследование**

Современные исследования демонстрируют существенное преимущество ультразвукового метода перед традиционной рентгенографией в диагностике подагры [17; 25; 49; 103; 127; 128; 130; 146]. Как показали некоторые работы, ультразвуковая визуализация позволяет выявлять эрозивные изменения на более ранних стадиях и при меньших размерах поражений по сравнению с рентгенологическим исследованием [3; 128]. Метаанализ Lee и коллег (2018) установил, что ультразвуковая диагностика подагры характеризуется средней

чувствительностью 65,1% при высокой специфичности 89% [83]. При детальном анализе различных ультразвуковых признаков было отмечено, что выявление тофусов и эрозий обладает относительно невысокой чувствительностью (54,3% и 51,6% соответственно), но исключительной специфичностью (93,2% и 93,3%), что подтверждает важную диагностическую роль метода [83].

Особое значение ультразвукового исследования заключается в его способности детально визуализировать структуру тофусов. В центре тофуса четко определяются гиперэхогенные кристаллы уратов, окруженные гипоэхогенной фиброзной тканью. Периферическая зона представлена гипоэхогенным ободком грануляционной ткани с признаками васкуляризации при доплеровском исследовании [12, 128]. Характерной особенностью уратных отложений является отсутствие выраженной акустической тени, что отличает их от других кристаллических структур с высоким акустическим сопротивлением.

Важным диагностическим критерием является симптом «двойного контура», формируемого гиперэхогенными уратными отложениями на поверхности хряща в сочетании с эхогенным контуром подлежащей кости. Согласно исследованиям Sivera et al. (2022), данный признак демонстрирует чувствительность 74–83% и специфичность 76–88%, что превышает аналогичные показатели для визуализации тофусов (65% и 80% соответственно) [121]. При этом необходимо проводить дифференциальную диагностику с кальций-пирофосфатными отложениями, которые имеют характерную локализацию в менисках коленных суставов и треугольном фиброзно-хрящевом комплексе запястья [32, 94].

Ультразвуковая диагностика костных эрозий требует их визуализации как минимум в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Как отмечают Pastor C. et al. (2022), эрозивные изменения при подагре не имеют патогномоничных особенностей и могут быть схожи с таковыми при ревматоидном артрите [105]. В сложных диагностических случаях, по данным Weaver et al. (2021), важное значение имеет выявление сопутствующих изменений – тофусов, синовита и гиперемии [146]. Характер суставного выпота при подагре может варьировать от

анэхогенного до гетерогенного с гиперэхогенными включениями по типу «снежной бури», что обусловлено наличием кристаллов моноурата натрия в сочетании с утолщенной синовиальной оболочкой [95, 135]. По данным Christiansen et al. (2021), ультразвуковое исследование сохраняет высокие показатели специфичности (88–95%), положительной прогностической ценности (94–98%) и общей точности (82–84%) в выявлении тофусов, что делает его ценным методом первичного обследования [44].

Перспективным направлением является применение эластографии. Tang et al. (2017) установили, что жесткость синовиальной оболочки в межприступный период достоверно выше, чем в острую фазу, что повышает диагностическую точность метода [130]. Позднее Taljanovic et al. (2017) продемонстрировали возможность количественной дифференциации подагрического и неподагрического поражения суставов с помощью эластографии сдвиговой волны [127].

Систематический обзор Zhang et al. (2018) подтверждает высокую диагностическую ценность ультразвукового исследования при подагре. Характерные признаки («двойной контур», «снежная буря», тофусы) обладают высокой специфичностью, хотя их чувствительность остается умеренной. Комплексная оценка всех ультразвуковых признаков позволяет повысить диагностическую точность метода [71, 141].

Несмотря на очевидные преимущества, УЗИ имеет определенные ограничения. Сравнительное исследование Klauser et al. (2018) показало низкую чувствительность ультразвукового метода при диагностике подагрического поражения кистей и запястий, особенно при внесуставной локализации тофусов (70,1% против 80,3% для внутрисуставных образований) [73]. Davies et al. (2019) подчеркивают невозможность ультразвуковой визуализации истинных внутрикостных тофусов [49]. Как отмечают Sivera et al. (2022), метод уступает двухэнергетической компьютерной томографии в дифференциальной диагностике различных кристаллических артропатий [121]. Учитывая совокупность приведённых факторов, ультразвуковое исследование демонстрирует

ограниченную диагностическую ценность при подагрическом артрите ввиду высокой зависимости от условий проведения и анатомической области патологического проявления.

### 1.1.3 Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография занимает важное место среди современных методов лучевой диагностики в ревматологии благодаря своей высокой информативности [114, 134, 135]. При подагрическом артрите МРТ-картина характеризуется рядом типичных признаков. Визуализируются эрозивные изменения костной ткани – от небольших единичных дефектов до распространенной околоуставной и внутрисуставной деструкции, которая часто сочетается с прилежащими четко очерченными тофусами.

Тофусы при МРТ-исследовании имеют характерные особенности сигнала: они проявляются как узловое образование с низкоинтенсивным сигналом в T<sub>1</sub>- и T<sub>2</sub>-взвешенных изображениях (T<sub>1</sub>ВИ, T<sub>2</sub>ВИ), а также слабоинтенсивным сигналом в режиме с жироподавлением [65]. В некоторых случаях может наблюдаться неоднородное повышение сигнала по всему объему тофуса, что связано с наличием гетерогенных компонентов в его структуре. При проведении контрастного усиления типично интенсивное накопление контрастного вещества по периферии тофуса, что обусловлено наличием окружающей его фиброваскулярной ткани [18, 36, 113, 128]. В острой стадии заболевания дефекты кортикального слоя кости обычно сочетаются с утолщением синовиальной оболочки. При хроническом течении подагры края эрозий становятся склерозированными, а признаки синовита, как правило, отсутствуют [146]. При этом до поздних стадий заболевания вокруг эрозий сохраняется перифокальный отек костного мозга [49]. Важные данные были получены в исследованиях McQueen F.M. (2014) и Teh J. (2018), которые независимо друг от друга установили, что наличие отека костного мозга и синовита не гарантирует последующего формирования эрозий, тогда как присутствие тофусов указывает на высокую вероятность развития деструктивных изменений. Однако, несмотря

на высокую специфичность метода (93%) в визуализации тофусов, его относительно низкая чувствительность (63%) в выявлении эрозий требует проведения дополнительных исследований в этом направлении [80, 120].

В научной литературе широко обсуждаются сложности МРТ-диагностики острой полиартикулярной подагры, особенно при небольших размерах тофусов и их атипичной локализации. Особые диагностические трудности возникают при нетипичных клинических проявлениях подагры, включая теносиновит, панникулит, а также при необходимости дифференциальной диагностики с опухолевыми процессами [50, 58, 79, 81, 86, 124, 138]. Серьезной проблемой остается диагностика подагры при локализации тофусов в осевом скелете, когда окончательный диагноз часто устанавливается только после гистологического исследования операционного материала или по данным двухэнергетической КТ [26, 41, 62, 77, 82, 107]. В клиническом наблюдении Chen et al. (2020) описана МРТ-картина, имитировавшая грыжу диска L4-L5 и стеноз корешкового канала, которая впоследствии оказалась проявлением подагрических тофусов, что было подтверждено при морфологическом исследовании операционного материала [39]. Аналогичный случай приведен в публикации Martins D. et al. (2021), где узловое образование на уровне L4-L5, первоначально интерпретированное как менингиома, при гистологическом исследовании оказалось скоплением аморфного кристаллического материала с воспалительным инфильтратом [89]. Подобные случаи ошибочной интерпретации МРТ-картины подагрических тофусов в поясничной области как опухолевых процессов (остеохондрома, экстрадуральные образования) описаны также Shen et al. (2019) и Wu et al. (2022) [105, 136].

К числу нетипичных локализаций подагрических тофусов, которые могут ошибочно расцениваться при МРТ как новообразования, относятся анатомические структуры коленного сустава – надколенник (Chiu et al., 2020) и крестообразные связки (Curd et al., 2021) [28, 33]. Диагностические сложности также возникают при интерпретации МРТ-изображений в случае локализации тофусов в крестцово-подвздошных сочленениях (Namas et al., 2019) и височно-

нижнечелюстных суставах (Hng et al., 2023) [52, 83]. При этом многие авторы отмечают ограниченную диагностическую ценность МРТ как самостоятельного метода диагностики подагры [20, 33]. В исследованиях Yang et al. (2022) описаны случаи ложноотрицательных результатов при МРТ-диагностике подагры, когда исследование выявляло признаки синовита, но не обнаруживало тофусы из-за их малых размеров [149]. Важные данные приведены в обзоре Davies et al. (2019), где на основании сравнительного исследования 40 пациентов с верифицированной подагрой при использовании МРТ и ДЭКТ было показано, что чувствительность МРТ в обнаружении тофусов составляет лишь 63% при специфичности 98% [49]. Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод, что МРТ-признаки не всегда позволяют достоверно идентифицировать подагрические тофусы и во многих случаях диагноз может быть установлен только при комплексной оценке клинико-лабораторных показателей. Дополнительным ограничением метода является наличие абсолютных противопоказаний к проведению МРТ у пациентов с кардиостимуляторами. Совокупность этих факторов объясняет отсутствие результатов МРТ в перечне диагностических критериев, разработанных ACR/EULAR [96].

#### **1.1.4 Ядерная медицина**

На сегодняшний день в научной литературе представлено относительно мало данных, касающихся применения радионуклидных методов диагностики при подагре. Следует отметить, что остеосцинтиграфия не входит в стандартные клинические рекомендации по ведению пациентов с этим заболеванием, а имеющиеся публикации преимущественно ограничиваются описанием отдельных клинических случаев [70, 133].

Анализ доступных литературных источников показывает, что повышенное накопление радиофармпрепарата (РФП) у больных подагрой может быть связано с воспалительным процессом, приводящим к усилению регионарного кровотока в пораженной области [24, 73]. Интересный клинический пример описан Vicente et al. (2018), где при проведении однофотонной эмиссионной компьютерной

томографии с  $^{67}\text{Ga}$ -цитратом было обнаружено накопление изотопа в реберно-позвоночных и межпозвоноковых суставах. Эти изменения интерпретировались как воспалительные очаги, что впоследствии было подтверждено гистологическим обнаружением кристаллов моноурата натрия [137].

Особого внимания заслуживают диагностические сложности, возникающие при дифференциации подагрических изменений с другими патологическими процессами. Это рассматривается, например, в работе Emsen et al. (2020), где у пациентки с онкологическим анамнезом множественные гиперметаболические очаги в шейно-грудном отделе позвоночника при гистологическом исследовании оказались проявлениями подагрических тофусов [54]. Аналогичная диагностическая ситуация представлена в наблюдении Jiao et al. (2023): при подозрении на опухолевое поражение на уровне L5-S1 была выполнена позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ/КТ), выявившая локальное накопление РФП. Последующее гистологическое исследование установило, что эти изменения были обусловлены реактивной перестройкой костной ткани в зоне подагрического тофуса [68].

Современные публикации (Wang et al., 2022; Yang et al., 2022) подчеркивают, что выявляемые при радионуклидных исследованиях участки повышенного накопления РФП отражают неспецифическую воспалительную реакцию, которая может наблюдаться при различных патологических состояниях, включая инфекционные процессы, опухолевые заболевания и другие виды артропатий [144; 149].

Несмотря на определенные ограничения, методы ядерной медицины могут играть вспомогательную роль в комплексной диагностике подагры, особенно в сложных клинических случаях с атипичной локализацией тофусов (например, при поражении осевого скелета). Однако по сравнению с другими современными методами визуализации они обладают меньшей специфичностью в выявлении характерных морфологических изменений при подагрическом артрите.

### 1.1.5 Рутинная компьютерная томография

Компьютерная томография занимает важное место в диагностике подагрического артрита, прежде всего благодаря способности точно определять наличие и степень костных эрозий. При проведении исследования тофусы визуализируются как образования с характерной плотностью около +170 единиц по шкале Хаунсфилда, причем этот показатель остается стабильным как в острый период заболевания, так и во время ремиссии [58, 59]. В случаях внутрикостной локализации тофусы определяются как остеолитические очаги с четкими контурами, не имеющие специфических особенностей.

КТ обладает принципиальными преимуществами перед рентгенографией и ультразвуковым исследованием, что делает её незаменимым методом в диагностике костных изменений. В отличие от рентгенографии, КТ исключает сумационный эффект, обеспечивая чёткое послойное изображение костных структур без наложения теней, что значительно повышает точность выявления даже минимальных деструктивных изменений. В отличие от УЗИ, рутинная КТ позволяет визуализировать анатомические структуры, недоступные для ультразвукового исследования, такие как структуры аксиального скелета (позвоночник, кости таза), а также сложные анатомические зоны. Это происходит благодаря трёхмерной реконструкции изображений.

Данный факт подтверждается исследованием Kiefer T. et al. (2016), в котором указано, что компьютерная томография превосходит традиционную рентгенографию по частоте визуализации как костных деструктивных изменений, так и мягкотканых компонентов тофусов [72].

Yang et al. (2022) показали, что хотя проявления подагрического артрита в аксиальном скелете встречаются редко, КТ вносит значительный вклад в диагностику костных структур, однако играет вспомогательную роль в выявлении высокоплотных мягкотканых компонентов тофусов [150].

В медицинской литературе можно найти многочисленные описания остеолитических изменений при подагре различной локализации. В частности,

Matos et al. (2020) описали случай поражения остистого отростка седьмого шейного позвонка, а Birk и коллеги (2023) – височно-нижнечелюстного сустава. Примечательно, что в обоих случаях окончательный диагноз был установлен только после гистологического исследования биопсийного материала [19, 79]. В исследовании Brahmhatt et al. (2022) также подчеркивается вспомогательная роль стандартной КТ, при этом в качестве референтного метода использовалась двухэнергетическая компьютерная томография [35]. Несмотря на то что рутинная КТ превосходит рентгенографию в визуализации признаков подагрического артрита, её диагностическая эффективность низкая, что также находит подтверждение в работе Gessl et al. (2024) [60].

Таким образом, несмотря на способность компьютерной томографии к комплексной визуализации костно-суставных структур и мягких тканей, её применение в диагностике подагрического артрита ограничивается низкой специфичностью. Это связано с тем, что выявляемые патологические изменения могут имитировать другие состояния, в частности злокачественные новообразования или псевдоподагру, что было также отмечено в исследовании Hng et al. (2023), а также Qing et al. (2025) [64; 109]. Нельзя забывать и об ограничении по контрастности мягких тканей в сравнении с МРТ, что может затруднять определение анатомических локализаций.

### **1.1.6 Двухэнергетическая компьютерная томография**

Особый интерес представляет сравнение диагностических возможностей стандартной компьютерной томографии и ДЭКТ. Последняя методика, основанная на использовании двух различных энергетических режимов (низко- и высокоэнергетический), обладает уникальной способностью неинвазивного выявления признаков кристаллов моноурата натрия, в том числе на ранних стадиях заболевания, а также других заболеваний [2; 4; 5; 15; 18; 52; 57; 58; 63; 78; 101; 138; 141]. Многочисленные исследования подтверждают высокую диагностическую ценность этого метода. В работах Bongartz et al. (2015), а также Chou et al. (2017) подчеркивается исключительная чувствительность и

специфичность ДЭКТ в диагностике подагры (90%, 83% и 78%, 93% соответственно) [21, 29]. Alqatari et al. (2018) в своем исследовании продемонстрировали явные преимущества ДЭКТ перед стандартной КТ при выявлении тофусов в осевом скелете, где первый выступал референтным методом в сложной клинической ситуации [24]. Еще более убедительные данные были получены Namas et al. (2019), которые сообщили о 100% чувствительности и 79–89% специфичности метода [95]. Аналогичные выводы содержатся в работах Walstra et al. (2019) и других исследователей, подтверждающих превосходство ДЭКТ над обычной КТ [22, 122, 130, 132, 137].

Особого внимания заслуживают результаты исследования Lee и коллег (2019), которые показали, что комбинированное применение ДЭКТ и стандартной КТ позволяет достичь более высокой диагностической точности: 93–95,2% по специфичности и 79,2% по чувствительности [81]. Яркой иллюстрацией преимуществ ДЭКТ служит клинический случай, описанный Hussain et al. (2019): этот метод выявил отложения уратов в структурах коленного сустава, в то время как традиционная рентгенография и диагностический артроцентез не дали значимых результатов [66].

При сравнении ДЭКТ с другими современными методами визуализации выявляются ее явные преимущества. Несмотря на высокую информативность МРТ в оценке структурных изменений суставов, ДЭКТ демонстрирует превосходство в идентификации кристаллов моноурата натрия [16]. В исследовании Wang et al. (2020) описаны случаи, когда ДЭКТ позволила скорректировать ошибочный диагноз септического артрита, установленный по данным МРТ, выявив характерные уратные отложения [142]. Сходные результаты были получены Xue et al. (2020), Tang et al., (2025), где применение ДЭКТ дало возможность дифференцировать подагру от других артритов [118, 137].

Сравнительный анализ диагностической ценности ДЭКТ и ультразвукового исследования выявил ряд важных особенностей. По данным Khanna et al. (2021), ДЭКТ демонстрирует более высокую точность в выявлении внесуставных отложений уратов [71]. Zou et al. (2021) отмечают преимущества ДЭКТ при

диагностике острого подагрического артрита голеностопного сустава и стопы [153]. Аналогичные данные указываются в метаанализе Shang и коллег (2022), где чувствительность (89% против 84%) и специфичность (91% против 84%) ДЭКТ превосходит УЗИ, однако преимущество УЗИ определяется на ранних стадиях заболевания (при длительности менее 2 лет) [115]. В работе Laurent et al. констатируется, что измерение тофусов с помощью ДЭКТ позволяет получить меньшие объемы, чем при УЗИ, поскольку последнее измеряет тофус целиком, в то время как ДЭКТ измеряет только кристаллическое ядро [79].

Помимо основной диагностической функции, ДЭКТ обладает рядом дополнительных возможностей. Метод успешно применяется для дифференциальной диагностики, позволяя благодаря технологии цветового кодирования отличить подагрические изменения от других видов артропатий, что наглядно продемонстрировано в работе Sanghavi et al. (2023) [113]. Важной особенностью является прогностическая ценность метода: исследования Marty-Ané и коллег (2021) установили четкую корреляцию между объемом уратных отложений и риском обострений, а также вероятностью развития сердечно-сосудистых осложнений [90]. Напротив, в исследованиях Stamp et al. (2023) и Laurent et al. (2025) указывается, что отсутствие визуализации кристаллов моноурата натрия при помощи двухэнергетической компьютерной томографии коррелирует с низким риском развития осложнений заболевания [68, 112]. Кроме того, ДЭКТ эффективно используется для мониторинга эффективности лечения, что подтверждается данными Li et al. (2021), а также Uhlig и коллег (2022) [72, 125]. Как отмечается в исследовании Sirotti et al., важнейшим аспектом клинического применения данного мониторинга является определение пороговых значений по данным визуализации с целью оптимизации сроков назначения и отмены профилактической терапии, а также для индивидуализации целевых показателей сывороточной мочевой кислоты, обеспечивающих максимальное растворение кристаллов в тканях [120].

Современные исследования свидетельствуют о постоянном совершенствовании технологии ДЭКТ. В работе Vaffour et al. (2022) отмечается

значительное повышение диагностической точности метода, сокращение количества сомнительных результатов с 33 до 16%, а также уменьшение необходимости в диагностических пункциях суставов [29]. Наибольшая диагностическая эффективность, по данным Sotniczuk et al. (2022), достигается при сочетании ДЭКТ с критериями ACR/EULAR, обеспечивая чувствительность 100% и специфичность 76,6% [122].

Однако следует учитывать и определенные ограничения метода. Исследования Kravchenko и коллег (2022) показали снижение чувствительности ДЭКТ до 63% при малой продолжительности заболевания [75]. Shang et al. (2021) выявили значительную зависимость диагностической точности от стажа болезни: при длительности менее 1 года чувствительность составляла всего 38,1%, увеличиваясь до 62,96% при сроке 1–3 года и достигая 77,55% при длительности заболевания более 3 лет [114].

Важное значение в диагностике имеет учет потенциальных артефактов, способных имитировать отложения кристаллов моноурата натрия. К числу таких диагностических ловушек относятся артефакты, возникающие вследствие двигательной активности пациента, наличия инородных тел, а также ложные отложения в ногтевом ложе, обусловленные явлениями гиперкератинизации [115]. Однако существует особый вид артефактов – «комковые артефакты», которые являются скоплением рассеянных субмиллиметровых зелёных пикселей. Данные артефакты, а также смешанные по составу отложения, содержащие как кальций, так и кристаллы МУН, могут ухудшить точность интерпретации [117]. «Комковые артефакты» появляются вдоль сухожилий или связок в виде скоплений, которые напоминают тофусы по форме и расположению, что может затруднять диагностику и приводить к ложноположительным результатам [55, 91]. Однако в исследовании Shin et al. (2022) говорится, что данные артефакты, в отличие от тофусов, имеют более линейную форму с пунктирными рисунками, а также большую ширину по отношению к высоте [117]. Более того, характер и выраженность артефактов визуализации определяются типом программного обеспечения, моделью и производителем томографа. При этом неизвестно о

воспроизводимости результатов, полученных на оборудовании одного производителя при использовании аппаратуры другого [79].

Тщательный анализ и осведомленность о названных особенностях важны при интерпретации результатов, они также подчеркивают значимость комплексного подхода к диагностике подагрического артрита, учитывающего длительность заболевания, совокупность клинических проявлений и наличие артефактов.

Проведенный анализ литературных данных свидетельствует о том, что диагностика подагрического артрита сопряжена со значительными трудностями как на этапе первичного выявления, так и в процессе дифференциальной диагностики. Что касается лучевых методов, их информативность зависит от ряда факторов: длительности течения заболевания, выраженности структурных изменений в суставах и наличия гиперурикемии. В связи с этим ни один из методов визуализации не является универсальным; как правило, они наиболее эффективны в конкретных клинических сценариях и чаще выполняют вспомогательную роль в верификации диагноза.

На сегодняшний день двухэнергетическая компьютерная томография активно внедряется в клиническую практику как высокоинформативный метод диагностики широкого спектра заболеваний. Одной из областей ее применения стала верификация кристаллических артропатий, среди которых наибольшую значимость имеет выявление подагрического артрита. Использование такого современного метода предоставляет уникальную возможность для неинвазивной визуализации и количественной оценки объема выявленного субстрата благодаря своим физическим особенностям. Это позволяет идентифицировать даже мелкие депозиты кристаллов моноурата натрия в самых разных анатомических областях. Указанные характеристики представляют собой несомненные диагностические преимущества метода в сравнении с другими лучевыми методиками.

Таким образом, двухэнергетическая компьютерная томография представляет собой не только высокоинформативный диагностический инструмент, метод также обладает значительным потенциалом для объективного

контроля динамики патологического процесса, что подтверждает его клиническую значимость и определяет перспективы дальнейшего внедрения в медицинскую практику.

По мере развития метода ДЭКТ совершенствовались как его технические аспекты, так и алгоритмы интерпретации изображений, что значительно повысило его диагностическую информативность. По поводу диагностической эффективности ДЭКТ существуют различные мнения: одни исследователи сообщают об умеренной, другие — о высокой диагностической эффективности метода.

Анализ литературных данных выявил сохраняющиеся проблемы, связанные со сложностью дифференциации артефактов и истинно положительных результатов. Наибольшие трудности в диагностике подагры доставляют именно комковые артефакты, поскольку их визуальные характеристики крайне схожи с таковыми у тофусов.

Таким образом, настоящее исследование посвящено сравнительному анализу диагностической эффективности методов лучевой диагностики подагрического артрита, изучению диагностической ценности ДЭКТ, обоснованию критериев его применения и повышению точности диагностики кристаллов МУН с помощью ДЭКТ на ранних стадиях. Решение этих задач позволит оптимизировать диагностический алгоритм при данном заболевании, что послужило основанием для формирования идеи диссертационного исследования.

## **Глава 2. МАТЕРИАЛЫ 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 при организационном и методическом участии структурных подразделений университета.

Основной клинический материал для исследования был отобран из базы пациентов ревматологического отделения клиники университета.

Исследование получило официальное одобрение локального этического комитета Сибирского государственного медицинского университета (протокол № 4252 от 28 сентября 2015 года). При проведении работы были строго соблюдены:

- этические принципы Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (с учетом поправок 2000 года);
- нормативные требования «Правил клинической практики в Российской Федерации», утвержденных Приказом Министерства здравоохранения РФ № 266 от 19 июня 2003 года;
- внутренние регламентирующие документы университета, касающиеся проведения научных исследований.

Все диагностические процедуры и методы обследования пациентов выполнялись в соответствии с утвержденными клиническими протоколами и стандартами медицинской помощи. Обеспечение контроля качества диагностических исследований осуществлялось в соответствии с внутренними регламентами соответствующих диагностических подразделений.

### **2.1 Общая характеристика пациентов**

В исследовании приняли участие 140 пациентов с подозрением на подагрический артрит, обратившихся в ревматологическое отделение клиник

СибГМУ, для диагностики и лечения заболевания суставов. Возраст данных пациентов составил от 31 года до 85 лет (89 мужчин, 51 женщина возрастом 65 (54– 71) лет).

У большинства пациентов (91, 65%) продолжительность заболевания составляла более 5 лет. Среднее значение МК в крови –  $414,4 \pm 127,6$  мкмоль/л, при этом у 49% пациентов этот показатель не превышал 420,0 мкмоль/л. Подробные демографические, анамнестические и лабораторные данные пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Общая характеристика исследованных пациентов

Характеристика		Абс. число	%	Медиана	Среднее
Пол	Мужской	89	64		
	Женский	51	36		
Возраст				65 (54 – 71)	
Клинические проявления артрита	Стопы	89			
	Коленные суставы	57			
	Кисти	74			
	Локтевые суставы	32			
Продолжительность заболевания (лет)				5 (3 – 12)	
Продолжительность заболевания	<5 лет	49	35		
	5 – 10 лет	48	34		
	≥10 лет	43	31		
Концентрация МК в крови (мкмоль/л)					414,4 (±127,5)
Концентрация МК в крови	>420 мкмоль/л	72	51		
	≤420 мкмоль/л	68	49		

В качестве диагностических критериев подагрического артрита в данном исследовании использовались стандарты, разработанные совместно Американской коллегией ревматологов (ACR) и Европейской антиревматической

лигой (EULAR), а также рекомендованные ВОЗ для применения в клинической практике:

- Обнаружение кристаллов моноурата натрия в синовиальной жидкости при микроскопическом исследовании. Наличие тофусов, содержащие кристаллы МУН;

- Наличие тофусов, подтвержденных гистологически или методом поляризационной микроскопии, содержащих кристаллы МУН;

- Наличие не менее 8 баллов по совокупности клинических, лабораторных и инструментальных признаков заболевания:

- 1) повторные атаки острого артрита ( $\geq 2$  эпизодов в анамнезе);
- 2) быстрое нарастание воспаления (максимальная выраженность симптомов в первые 24 часа);
- 3) моноартикулярный характер поражения (воспаление одного сустава);
- 4) гиперемия кожи над пораженным суставом;
- 5) отек и болезненность первого плюснефалангового сустава (I ПФС);
- 6) одностороннее поражение I ПФС;
- 7) асимметричное воспаление суставов стопы;
- 8) клинические признаки тофусов (подкожные узелки, чаще в области суставов, ушных раковин);
- 9) гиперурикемия (повышение уровня мочевой кислоты в сыворотке крови);
- 10) асимметричный суставной отек при визуальном или пальпаторном исследовании;
- 11) рентгенологические признаки (субкортикальные кисты без эрозий);
- 12) отрицательный результат микробиологического посева синовиальной жидкости.

Согласно вышеперечисленным критериям диагноз был верифицирован у 91 пациента и опровергнут у 49 пациентов (таблица 2).

Таблица 2 – Верификация диагноза подагры

Критерий верификации	Количество пациентов
Наличие кристаллов МУН в суставной жидкости	27
Наличие тофусов, содержащих кристаллы МУН	13
Наличие не менее 8 баллов, рассчитанных по совокупности клинических, лабораторных и инструментальных признаков	51
Диагноз исключен	49

Таким образом, сформировались две группы пациентов: основная группа – пациенты с подтвержденным диагнозом «подагрический артрит» ( $n = 91$ ) и группа сравнения – пациенты с другими подтвержденными нозологическими формами заболеваний суставов ( $n = 49$ ), к которым относились ревматоидный артрит ( $n = 11$ ), псориатический артрит ( $n = 7$ ), кальций-пирофосфатный артрит (КПФ) ( $n = 13$ ) и остеоартроз ( $n = 18$ ) (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение пациентов в зависимости от диагноза

Группа	Диагноз	Количество пациентов	
		Абс. число	%
Основная	Подагрический артрит	91	65
Сравнения	Ревматоидный артрит	11	7,9
	Псориатический артрит	7	5
	Кальций-пирофосфатный артрит	13	9,3
	Остеоартроз	18	12,8

*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.

Пациенты с подагрическим артритом были распределены на 3 подгруппы в зависимости от стажа заболевания. Таким образом, первая подгруппа с продолжительностью заболевания до 5 лет сформировалась из 28 человек, вторая подгруппа с продолжительностью заболевания от 5 до 10 лет из 31 человека и третья подгруппа с продолжительностью заболевания более 10 лет из 32 человек (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение больных основной группы в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Продолжительность заболевания, годы	Количество пациентов	
		Абс.	%
Первая подгруппа	Менее 5	28	30,7
Вторая подгруппа	5–10	31	34,1
Третья подгруппа	Более 10	32	35,2

## 2.2 Методы обследования пациентов

Всем пациентам проводилось комплексное клинико-диагностическое обследование с применением лабораторных и визуализирующих методов.

### 2.2.1 Клинико-anamнестический метод

Сбор клинико-anamнестических 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 проводилось сертифицированным ревматологом с большим практическим опытом в строгом соответствии с действующими клиническими рекомендациями.

В ходе осмотра выполнялась комплексная оценка состояния всех суставных групп, включающая пальпаторное исследование, определение объема активных и пассивных движений, а также анализ функциональных возможностей. Особое внимание уделялось выявлению и объективизации признаков воспалительного процесса: визуальных изменений кожных покровов, измерения локальной температуры, оценки выраженности отека и интенсивности болевого синдрома при пальпации. Параллельно проводилась регистрация структурных изменений суставов – деформаций, нарушений анатомической конфигурации и признаков хронического воспаления.

Для обеспечения максимальной стандартизации и воспроизводимости результатов все полученные данные фиксировались в унифицированной электронной карте исследования с последующей статистической обработкой. Методика обследования была разработана с учетом необходимости минимизации субъективной составляющей при оценке клинических проявлений заболевания.

### **2.2.2 Лабораторные методы исследования**

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. Объем аспирируемой синовиальной жидкости составлял 1,5–2,0 мл, что обеспечивало достаточное количество материала для всех необходимых исследований. Полученные образцы немедленно транспортировались в клинко-диагностическую лабораторию, где проводилось комплексное исследование физико-химических свойств синовиальной жидкости. Особое внимание уделялось проведению поляризационной микроскопии в идентификации кристаллов мочевой кислоты и дифференциации их от других видов кристаллических отложений. Все исследования выполнялись в соответствии с утвержденными клиническими протоколами и стандартами лабораторной диагностики.

## 2.2.3 Лучевые методы исследования

### 2.2.3.1 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 клиническими стандартами во всех зонах интереса: кисти, локтевые суставы, стопы, коленные суставы, в которые входили и локализации (n=252) с выявленным подагрическим артритом. В ходе анализа оценивали состояние костных структур – наличие/отсутствие эрозий, мягкотканый компонент тофуса, кальцинаты мягких тканей, состояние суставных щелей с учетом технических возможностей метода. Исследование выполнялось в строгом соответствии с международными протоколами лучевой диагностики и действующими клиническими рекомендациями.

Обследование включало выполнение обзорных рентгенограмм в стандартных проекциях всех клинически значимых зон:

- кисти (включая лучезапястные суставы);
- локтевые суставы;
- стопы (с обязательной визуализацией плюснефаланговых суставов);
- коленные суставы.

Все исследования выполнялись с соблюдением стандартных параметров экспозиции (напряжение 50–60 кВ, сила тока 2–5 мАс в зависимости от исследуемой области) и обязательным использованием индивидуальных средств радиационной защиты. Полученные цифровые изображения анализировались на профессиональной рабочей станции с возможностью масштабирования и коррекции контрастности для повышения диагностической ценности исследования.

### 2.2.3.2 Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография проводилась 37 пациентам с подозрением на подагрический артрит на аппарате General Elelctric SIGNA Creator с индукцией магнитного поля 1,5 Тесла. В ходе сканирования выполнялись срезы в трех плоскостях (сагиттальной, коронарной и аксиальной) толщиной 3–5 мм с применением T1- и T2-взвешенных последовательностей, а также с использованием методики подавления сигнала от жировой ткани (таблица 5).

Таблица 5 – Параметры МР-сканирования

Укладка пациента	На спине, ногами вперед
Контраст, доза, скорость введения	Оmnискан 0,2мл/кг массы тела
Путь введения	Внутривенно
Задержка дыхания	Свободное дыхание
Последовательности	T1-FLASH, T1-SE
Ориентация последовательности	Аксиальная ориентация, направление фазового кодирования – справа налево
TR, TE, угол наклона	<19 мс, <9,5 мс, 10°
Матрица	320×320
Поле обзора (FOV)	280×280×79 мм
Количество срезов (истинное, реконструированное)	72
Размер вокселя	0,7×0,7×1,1 мм
Время последовательности	17 с × 10–15 измерений
Ориентиры для позиционирования зоны сканирования	Использованы Sag+Cor T2 для оценки анатомических изменений
Реконструкции	MIP, MPR

### 2.2.3.3 Рутинная и двухэнергетическая компьютерная томография

В исследовании применялась современная гибридная система визуализации Siemens Symbia Intevo Bold, объединяющая возможности однофотонной эмиссионной и рентгеновской компьютерной томографии. Всем участникам исследования ( $n = 112$ ) проводилось комплексное томографическое обследование, включающее как стандартную КТ, так и ДЭКТ в следующих анатомических областях: кисти, локтевые суставы, стопы и коленные суставы

Для всех проводимых исследований использовались стандартизированные параметры сканирования, включающие напряжение 80 и 130 кВ при работе в двухэнергетическом режиме, с толщиной среза 0,75 мм (таблица 6).

Таблица 6 – Параметры сканирования

Характеристика	Кисти	Локтевые суставы	Стопы	Коленные суставы
Режим томографирования	Спиральный			
Толщина среза, мм	0,75			
Напряжение, кВ	80/130			
Эффективные эквивалентные дозы, мЗв	0,1–0,2			

#### Протокол исследования верхних конечностей

Пациенты располагались в положении лежа на животе с вытянутыми перед собой верхними конечностями, 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);

- локтевые суставы (от проксимальных метафизов костей предплечья до дистального метафиза плечевой кости).

### **Протокол исследования нижних конечностей**

При обследовании 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);
- коленных суставов (от проксимальных метафизов костей голени до дистальных метафизов бедренных костей).

Полученные изображения подвергались реконструкции в трех основных плоскостях – аксиальной, коронарной и сагиттальной, что обеспечивало всестороннюю визуализацию исследуемых анатомических структур.

Обработка и анализ томографических данных осуществлялись с применением специализированного программного обеспечения Siemens Syngo.via, обладающего широким функционалом для диагностической работы. Программный комплекс позволял 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.

Важной особенностью системы являлась возможность анализа данных, полученных как в стандартном режиме рутинной компьютерной томографии, так и в двухэнергетическом режиме сканирования, что значительно уменьшило лучевую нагрузку на пациентов в ходе исследования.

Критерии определения результатов ДЭКТ-исследований представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Интерпретация результатов ДЭКТ-исследований

Результат	Критерий
Истинно положительный (ИП)	Обнаружение кристаллов МУН в одной и/или более обследуемых локализаций, объемом $\geq 0,01 \text{ см}^3$
Истинно отрицательный (ИО)	Отсутствие кристаллов МУН во всех зонах интереса
Ложноположительный (ЛП)	Артефакты в виде уратоподобных пикселей
Ложноотрицательный (ЛО)	Отсутствие кристаллов МУН по данным ДЭКТ у пациентов с диагнозом ПА

#### 2.2.4 Статистические методы обработки полученных результатов

Для количественной оценки диагностической ценности применяемых методов лучевой диагностики проводился расчет основных показателей эффективности. Чувствительность (Se) определялась как отношение истинно положительных результатов к сумме истинно положительных и ложно отрицательных результатов ( $a/(a+b)$ ). Специфичность (Sp) вычислялась путем деления истинно отрицательных результатов на сумму истинно отрицательных и ложно положительных результатов ( $c/(c+d)$ ). Общая точность диагностики рассчитывалась как доля верных диагнозов (истинно положительных и истинно отрицательных) от общего числа исследований ( $(a+c)/(a+b+c+d)$ ). Статистическая достоверность полученных показателей оценивалась с помощью 95% доверительных интервалов, рассчитанных по точному биномиальному 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  $p < 0,05$ .

## Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Результаты рентгенографии

Рентгенологическое исследование остается основным методом диагностики у пациентов с подозрением на подагрический артрит (рисунок 2).



Рисунок 2 – Больной подагрическим артритом, возраст 71 год, продолжительность заболевания 14 лет. На рентгенограммах правой и левой стопы определяются типичные костные изменения в виде эрозий с нависающими склеротическими краями, а также множественные мягкотканые компоненты тофусов

Рентгенологическое исследование выполнено всем 140 пациентам, при этом проведен анализ 252 суставных локализаций. Среди них 155 (61,5%) локализаций (91 пациент) выявлены у больных с верифицированным диагнозом подагры в виде

проявления ПА, тогда как 97 (38,5%) локализаций – у пациентов группы сравнения (49 пациентов) с другими формами суставной патологии (таблица 8).

Таблица 8 – Количество исследованных суставов

Локализация	Количество	
	с ПА (n = 155)	без ПА (n = 97)
Лучезапястные	11	6
Межзапястные	7	9
Пястно-фаланговые	13	14
Межфаланговые (кисти)	4	16
Локтевые	9	3
Коленные	11	7
Голеностопные	17	4
Предплюсне-плюсневые	12	5
Плюснефаланговые	61	21
Межфаланговые (стопы)	10	12

Согласно данным таблицы наибольшая частота поражений как у пациентов с ПА, так и без него, отмечается в плюснефаланговых суставах (n=61 и n=21 соответственно). При этом структура прочих поражений различается: в группе с ПА наиболее часто вовлекались голеностопные (n=17) и пястно-фаланговые суставы (n=13), тогда как у пациентов без ПА – межфаланговые суставы кисти (n=16) и пястно-фаланговые суставы (n=14).

Патологические изменения суставов, выявленные при рентгенографии у пациентов с подозрением на ПА, представлены в таблице 9.

Данные, представленные в таблице 9, свидетельствуют о том, что ведущими изменениями, выявленными при рентгенографии у всех пациентов с подозрением на ПА, были эрозии без нависающих краев (n=169) и эрозии с нависающими склеротическими краями (n=62). При этом типичные для ПА эрозии были обнаружены у 38 больных ПА (n = 54; 34,8%) и у 4 больных без подтвержденного диагноза (n=8; 8,2%).

Таблица 9 – 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

Наименьшее количество наблюдений было зарегистрировано для симптома «пробойника» в виде внутрикостного дефекта (n=17; 10,9% и n=4; 4,1% в двух группах соответственно). Тофусы в виде нечётко очерченных мягкотканых образований выявились у 11 пациентов с ПА (n=20; 12,9%) и у 2 больных без верифицированного диагноза (n=3; 3,0%).

Данные о характере результатов, выявленных рентгенологических симптомах у пациентов основной группы и группы сравнения представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Данные о рентгенологических симптомах

Рентгенологический симптом	ИП	ИО	ЛП	ЛО
Эрозии с нависающими склеротическими краями	54	89	8	101
Эрозии без нависающих краев	91	19	78	64
Тофусы в виде нечетко очерченных мягкотканых образований	20	94	3	135
Симптом «пробойника»	17	93	4	138

В результате рентгенографического исследования на наличие эрозий с нависающими склеротическими краями было выявлено 54 ИП-, 89 ИО-, 8 ЛП- и 101 ЛО-результат. К категории ИП-результатов относилось наличие типичных для ПА эрозий с нависающими склеротическими краями у пациентов с подагрическим артритом. ИО-результат – отсутствие данного признака у пациентов без ПА. ЛП-результат – имитация данного симптома у пациентов без подтвержденного диагноза ПА, что встречалось у пациентов при остеоартрозе, при формировании больших кист по типу геоды, а также у больных ревматоидным артритом. Результат ЛО – отсутствие типичных эрозий вследствие проекционных наложений костных структур или атипичной локализации патологического процесса, напоминающее картину РА.

При визуализации эрозий без нависающих краев было выявлено 91 ИП-, 19 ИО-, 78 ЛП-, 64 ЛО-результатов. ИП-результаты – считались эрозии при относительно небольших размерах у пациентов с ПА в наиболее типичных локализациях. Результаты ИО – отсутствие данных эрозий в любых локализациях у пациентов без верифицированного диагноза ПА. ЛП-результаты – наличие мелких эрозий у пациентов без ПА, встречающиеся при ревматоидном артрите (например, эрозии 1-го плюснефалангового сустава при РА, имитирующие ПА, псориатическом артрите (ПсА) и кальций-пирофосфатном артрите). Результаты ЛО – эрозии малых размеров, не расцененные как признак ПА, напоминающие проявления псориатического артрита, реже ревматоидного артрита, с сопутствующими им типичными рентгенологическими признаками.

При определении мягкотканного компонента тофусов было выявлено 20 ИП-, 94 ИО-, 3 ЛП- и 135 ЛО-результатов. ИП-результаты – наличие нечетко очерченного, мягкотканного образования округлой (узловатой) формы у пациентов с подагрическим артритом. ИО – отсутствие данных проявлений у пациентов без ПА. ЛП – уплотнение параартикулярных мягких тканей в типичных для ПА локализациях у пациентов без верифицированного диагноза за счет суммационного эффекта вследствие ревматоидных гранулем, локального отека мягких тканей, теносиновита у больных ревматоидным, псориатическим

артритом. ЛО-результаты – отсутствие мягкотканного компонента у пациентов с ПА вследствие его малых размеров, недостаточных для рентгенографической визуализации.

В качестве иллюстрации ИП-результата для эрозий с нависающими склеротическими краями, а также мягкотканного компонента тофуса представлен рисунок 3.



Рисунок 3 – Больной подагрическим артритом, возраст 67 лет, продолжительность заболевания 9 лет. На рентгенограмме правой стопы в прямой проекции определяются типичные костные изменения в виде эрозий с нависающими склеротическими краями (черные стрелки), а также мягкотканые компоненты тофусов (белые стрелки)

В качестве иллюстрации ЛП-результата для эрозий с нависающими краями представлен рисунок 4.

ЛО-результат для мягкотканного компонента тофуса иллюстрирует рисунок 5.



Рисунок 4 – Больной ревматоидным артритом, возраст 64 года. На рентгенограмме суставов стоп визуализируются костные изменения в виде эрозий с нависающими краями (белые стрелки) в типичной для ПА локализации

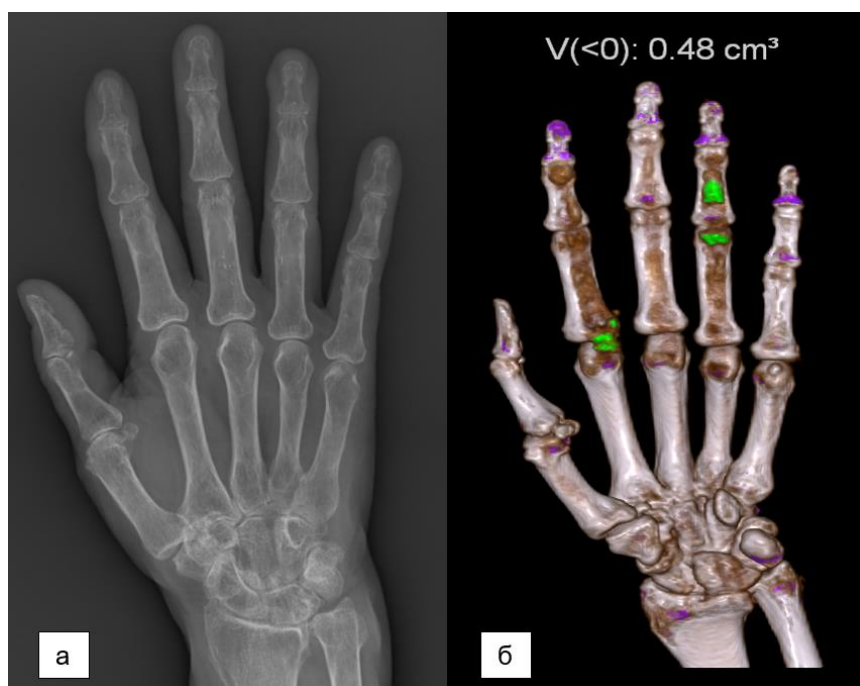


Рисунок 5 – Больной ПА, 55 лет, стаж заболевания 7 лет. Рентгенография (а) и 3D-реконструкция ДЭКТ-исследования (б) левой кисти

На рисунке 5а отображен выраженный диффузный остеопороз, сужение суставных щелей, мелкие эрозии лучезапястного сустава, дистального эпифиза локтевой кости, головки 1-й пястной кости и в отдельных межфаланговых

суставах, имитирующие проявления РА. Мелкие узловые образования с кристаллами МУН, закодированные зеленым цветом, – тофусы в области костей, формирующих проксимальный межфаланговый сустав 4-го пальца, а также в области 2-го пястно-фалангового сустава объемом 0,48 см<sup>3</sup> показаны на рисунке 56.

При определении симптома «пробойника» было выявлено 17 ИП-, 93 ИО-, 4 ЛП- и 138 ЛО-результатов. ИП-результатом считалось наличие округлого просветления в костной ткани со склеротическим ободком у пациентов с подагрическим артритом. ИО-результат – отсутствие данного симптома у пациентов без ПА. ЛП – наличие округлого просветления, имитирующего симптом «пробойника», у пациентов без верифицированного диагноза ПА, встречающегося у пациентов с ревматоидным артритом, реже с ОА и являющегося кистовидной перестройкой костной ткани. ЛО-результат – отсутствие данного симптома за счет недостаточной сформированности или имитация данного симптома в нетипичной для ПА локализации.

Показатели диагностической эффективности выявленных рентгенологических симптомов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели диагностической эффективности выявленных рентгенологических симптомов у пациентов основной группы и группы сравнения

Рентгенологический симптом	Se, % (95%ДИ)*	Sp, % (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			

Данные в таблице демонстрируют, что основное количество рентгенологических признаков подагрического артрита характеризуется низкой чувствительностью и высокой специфичностью. При этом самой низкой чувствительностью обладал симптом «пробойника» (10,9%) и мягкотканый компонент тофуса (12,9%). Относительно высокой чувствительностью, в сравнении с другими симптомами, обладали эрозии без нависающих краев (58,7%) при наименьшей специфичности данного признака (19,5%).

Для оценки диагностической эффективности рентгенографии в диагностике ПА учитывалось обследование всех зон интереса у каждого участника исследования (n = 140): стопы, коленные суставы, кисти и локтевые суставы. При этом истинно положительным результатом считалось выявление типичных патологических изменений в одной и более локализации, истинно отрицательным результатом – отсутствие изменений во всех обследуемых зонах. Ложноотрицательный результат у пациентов с подтвержденным диагнозом ПА – отсутствие патологических изменений, а ложноположительный – обнаружение типичных для ПА признаков у пациентов без верифицированного диагноза (таблица 12).

Таблица 12 – 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	91,8	91,7	48,9	63,5
				(36,3–60,5)	(83,8–96,1)	(80,5–96,7)	(39,0–59,0)	(55,4–71,6)
Примечание: * ДИ – доверительный интервал								

В результате определения диагностической эффективности рентгенологического исследования было установлено, что метод имеет низкую чувствительность (48,3%) за счет достаточно большого количества ЛО-результатов, обусловленных недостаточно сформированными типичными рентгенологическими признаками ПА (за счет мелких эрозий и мелких тофусов). В то же время имеет место высокая специфичность метода за счет малого

количества ЛП-результатов, к которым относились в том числе ошибочная интерпретация мягкотканного уплотнения и кисты, имитирующие тофусы и эрозии соответственно. При этом метод обладает высокой положительной прогностической ценностью при обнаружении одного из типичных рентгенологических симптомов (91,7%), однако их отсутствие не является надежным признаком для исключения болезни (48,9%).

Наряду с оценкой диагностической эффективности рентгенографии в общей группе исследованных пациентов, 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) (таблицы 13, 14).

Таблица 13 – Данные результатов рентгенографии у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа (n)	Продолжительность заболевания	ИП-результат		ЛО-результат	
		Абс.	%	Абс.	%
Первая (n=28)	До 5 лет	10	35,7	18	64,3
Вторая (n=31)	От 5 до 10 лет	16	51,6	15	48,4
Третья (n=32)	Более 10 лет	18	56,2	14	43,8

Таблица 14 – Чувствительность рентгенографии в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Продолжительность заболевания	Se, % (95%ДИ)*
Первая	До 5 лет	35,7 (19,6–54,9)
Вторая	От 5 до 10 лет	51,6 (33,7–69,2)
Третья	Более 10 лет	56,2 (38,7–72,6)

Результаты анализа показали низкую чувствительность рентгенографии в подгруппе пациентов с продолжительностью заболевания до 5 лет (35,7%), которая обусловлена наибольшим количеством ЛО-результатов. Это связано с тем, что ограниченная разрешающая способность метода не позволила выявить

мелкие тофусы, представленные мягкотканными уплотнениями. Что касается эрозий, то отсутствие визуализации реактивно обызвествленной надкостницы – типичного признака подагрического артрита – не позволило отличить их от эрозивных изменений, характерных для ревматоидного или псориатического артрита.

Чувствительность в остальных группах оказалась сопоставимо выше (51,6% и 56,2% соответственно), однако остается на низком уровне.

### 3.2 Результаты рутинной компьютерной томографии

КТ-исследование выполнено 112 пациентам, при этом проведен анализ 219 суставных локализаций. Среди них 142 локализации принадлежали больным с верифицированным диагнозом подагры (73 пациента), тогда как 77 локализаций относились к пациентам из группы сравнения (39 пациентов) (таблица 15).

Таблица 15 – Изменения, выявленные при КТ суставов пациентов основной группы и группы сравнения

Рентгенологический симптом	Количество локализаций с выявленными изменениями			
	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	–	-
Симптом «пробойника» в виде внутрикостного дефекта	49	34,5	11	14,2

Анализ данных показал, что у пациентов с подозрением на ПА при проведении рутинной компьютерной томографии наиболее часто выявлялись эрозивные изменения суставных поверхностей. При этом эрозии без нависающих

краев встречались наиболее часто в обеих группах, тогда как эрозии с нависающими склеротическими краями регистрировались в меньших количествах наблюдений (у пациентов с ПА n=61; 42,9%, у пациентов без ПА n=6; 7,7%).

Наименее распространенными симптомами оказались тофусы в виде нечетко очерченных мягкотканых образований, которые были выявлены у 13 пациентов с ПА (n=31; 21,8%), а также внутрикостные дефекты по типу «пробойника» (n=49, 34,5%).

Данные о характере результатов выявленных рентгенологических симптомов при рутинной КТ у пациентов основной группы и группы сравнения представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Данные о результатах рутинной КТ

Рентгенологический симптом	ИП	ИО	ЛП	ЛО
Эрозии с нависающими склеротическими краями	61	71	6	81
Эрозии без нависающих краев	104	6	71	38
Мягкотканый компонент тофуса	31	70	7	111
Симптом «пробойника»	49	66	11	93

В результате рутинного КТ-исследования на наличие эрозий с нависающими склеротическими краями было выявлено 61 ИП-, 71 ИО-, 6 ЛП- и 81 ЛО-результат. ИП-результатом считалось наличие типичных для ПА эрозий с нависающими склеротическими краями у пациентов с подагрическим артритом. ИО-результат – отсутствие данного признака у пациентов с другими нозологическими формами суставной патологии. ЛП-результаты – это наличие больших кист округлой формы при остеоартрозе по типу геоиды, что наблюдались и при рентгенографии. ЛО – отсутствие типичных форм эрозий у пациентов с ПА, имитирующих эрозивные изменения при других эрозивных патологиях.

При оценке эрозий без нависающих краев распределение результатов оказалось следующим: 104 ИП-, 6 ИО-, 71 ЛП- и 38 ЛО-результатов. ИП-

результаты соответствовали выявлению характерных мелких эрозий в типичных зонах у пациентов с подтвержденным ПА. ИО-результаты фиксировались при полном отсутствии подобных эрозий у пациентов без данного диагноза. ЛП-результаты связаны с обнаружением мелких эрозий у пациентов без ПА, которые также характерны для других форм артрита (ревматоидного, псориатического и кальций-пирофосфатного). ЛО-результаты расценивались в тех случаях, когда мелкие эрозии не были идентифицированы как признак ПА из-за их сходства с проявлениями других эрозивных патологий.

В ходе оценки мягкотканного компонента тофусов были зарегистрированы 31 ИП-, 70 ИО-, 7 ЛП- и 111 ЛО-результатов. Критерием ИП-данных служило выявление нечеткого узловатого уплотнения мягких тканей плотностью до 170 НУ у пациентов с подтвержденным подагрическим артритом. ИО-результаты устанавливались при отсутствии подобных изменений у лиц без признаков ПА. ЛП-результаты представляли собой параартикулярные уплотнения, аналогичные по плотности тофусам, у пациентов с ревматоидными узелками. ЛО-результаты были связаны с отсутствием визуализируемого мягкотканного компонента у пациентов с ПА из-за малых размеров образований, не определяемых при КТ-исследовании.

При определении симптома «пробойника» зафиксировано 49 ИП-, 66 ИО-, 11 ЛП- и 93 ЛО-результатов. Критерием ИП-результата служило обнаружение характерного округлого костного дефекта со склеротическим ободком у пациентов с подтвержденным подагрическим артритом. ИО-результат устанавливался при полном отсутствии данного рентгенологического признака у пациентов без ПА. ЛП-данные представляли собой кистовидные дефекты костной ткани, имитирующие симптом «пробойника», у пациентов с ревматоидным артритом, остеоартрозом и пирофосфатной артропатией. ЛО-данные были обусловлены отсутствием визуализируемых костных дефектов у пациентов с ПА вследствие их несформированности.

В качестве иллюстрации ИП-результата для эрозий с нависающими склеротическими краями, а также мягкотканым компонентом тофуса представлен рисунок 6.



Рисунок 6 – Больной подагрическим артритом, возраст 69 лет, продолжительность заболевания 11 лет. На 3D-реконструкции КТ-изображения правой стопы в корональной плоскости определяются типичные костные изменения в виде эрозий с нависающими склеротическими краями (черная стрелка), а также мягкотканый компонент тофуса (белая стрелка)

В качестве иллюстрации ЛП-результата для мелких эрозий и симптома «пробойника» приводится рисунок 7.

Показатели диагностической эффективности рентгенологических симптомов, выявленных при рутинной КТ у пациентов с подозрением на подагрический артрит, представлены в таблице 17.



Рисунок 7 – Больной кальций-пирофосфатным артритом, возраст 74 года.

На 3D-реконструкции КТ-изображения правой кисти в корональной плоскости. Множественные мелкие эрозии (черные стрелки) кости трапеции, трапециевидной кости, ладьевидной кости, а также округлое просветление костной ткани в полулунной кости, имитирующее симптом «пробойника» (белая стрелка)

Таблица 17 – Показатели диагностической эффективности симптомов, выявленных при рутинной КТ 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

Согласно представленным данным визуальные маркеры подагрического артрита, обнаруженные при рутинной компьютерной томографии, характеризовались низкой чувствительностью при высокой специфичности. Однако показатели чувствительности отличались более высокими значениями, чем при рентгенографии. Максимальную чувствительность (73,2%) продемонстрировали неспецифические эрозии без нависающих краев при одновременно самой низкой специфичности (7,7%). Подобный показатель был обусловлен имитацией эрозии без нависающих краев эрозивными изменениями при ревматических заболеваниях и остеоартрозе, включенных в группу сравнения. Наименьшее значение чувствительности (21,8%) отмечалось для мягкотканного компонента тофусов. Низкая выявляемость признака связана с малыми размерами образований, затрудняющими их визуализацию при использовании рутинной КТ. При этом данный симптом обладает достаточно высокой специфичностью (92,2%).

При анализе диагностической эффективности стандартной КТ в выявлении подагрического артрита проводилась комплексная оценка всех исследуемых областей у 112 пациентов, включая стопы, коленные суставы, кисти и локтевые сочленения. Критерии интерпретации результатов были следующими: ИП считалось обнаружение патологии в одной анатомической зоне, ИО – отсутствие изменений во всех обследованных участках. ЛО-результаты фиксировались при отсутствии рентгенологических изменений у пациентов с подтвержденным ПА, тогда как ЛП – при выявлении характерных для ПА изменений у лиц без установленного диагноза (таблица 18).

Таблица 18 – 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	92,3	93,6	55,4	71,4
				(48,2–71,2)	(79,1–98,4)	(82,5–97,8)	(43,3–66,8)	(61,8–79,4)
Примечание: * ДИ – доверительный интервал								

В результате оценки диагностической эффективности рутинной КТ было установлено, что метод имеет низкую чувствительность (60,3%), высокую специфичность (92,3%), при точности 71,4%. Стандартная КТ обладает высокой положительной прогностической ценностью при обнаружении одного из типичных КТ-симптомов (93,6%), однако низкой отрицательной ценностью (55,4%).

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, после 5 и после 10 лет (таблицы 19, 20).

Таблица 19 – Данные о результатах рутинной КТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа (n)	Продолжительность заболевания	ИП		ЛО	
		Абс.	%	Абс.	%
Первая (n=22)	До 5 лет	10	45,5	12	54,5
Вторая (n=30)	От 5 до 10 лет	19	63,3	11	36,7
Третья (n=21)	Более 10 лет	15	71,4	6	28,6

Таблица 20 – Чувствительность рутинной КТ в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Продолжительность заболевания	Se, % (95%ДИ)*
Первая	До 5 лет	45,5 (26,9–65,3)
Вторая	От 5 до 10 лет	63,3 (43,9–79,5)
Третья	Более 10 лет	71,4 (51,3–86,8)

Показатели таблицы демонстрируют снижение чувствительности метода у пациентов с продолжительностью заболевания до 5 лет (45,5%), что обусловлено наибольшим количеством ложноотрицательных результатов (n = 12) в данной подгруппе. Это ограничение связано с трудностями визуализации, аналогичными тем, что характерны для рентгенографии: недостаточно сформированные эрозивные изменения затрудняли дифференциальную диагностику с другими

эрозивными артропатиями. Одновременно фиксировались ЛО-случаи, связанные с тофусами малого размера, остающимися за пределами разрешающей способности метода вследствие своих минимальных размеров и морфологической незрелости. Схожая картина имела место и в отношении симптома «пробойника»: данные изменения либо не визуализировались ввиду своих малых размеров, либо ошибочно не распознавались как признак подагры из-за отсутствия патогномичного склеротического ободка.

### 3.3 Результаты магнитно-резонансной томографии

МРТ-исследование было проведено 37 пациентам с подозрением на подагрический артрит. Исследовано 94 суставных локализации, из которых изменения в 59 (62,7%) локализациях были обнаружены у пациентов с верифицированным диагнозом подагрического артрита (n=25), а в 35 (37,2%) локализациях выявленные симптомы имели место у пациентов группы сравнения (n=12) (таблица 21).

Таблица 21 – 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

Анализ данных таблицы показал, что у пациентов с подозрением на ПА при проведении МРТ наиболее часто выявлялись эрозивные изменения суставных поверхностей, с подавляющим количеством наблюдений с эрозиями без нависающих краев в обеих группах.

В единичных наблюдениях встречались эрозии с нависающими склеротическими краями у пациентов с подагрическим артритом и в достаточном количестве случаев – у пациентов с группы сравнения. При этом у 14 (56%) больных ПА эрозии без нависающих краев и у 2 (8%) больных с эрозиями с нависающими краями ассоциировались с тофусами.

На рисунке 8 показан пример эрозий без нависающих краев у пациента с подагрическим артритом, ассоциированным с тофусами.

Данные о характере результатов выявленных симптомов при МРТ пациентов с подозрением на подагрический артрит представлены в таблице 22.



Рисунок 8 – Больной подагрическим артритом, возраст 63 года, продолжительность заболевания 14 лет. На нативных коронарных МРТ-томограммах левой стопы определяются распространенные эрозии без нависающих краев в сочетании с прилежащими тофусами (белые стрелки)

Таблица 22 – Данные о характере результатов выявленных симптомов при МРТ пациентов основной группы и группы сравнения

МРТ-симптом	ИП	ИО	ЛП	ЛО
Эрозии с нависающими склеротическими краями	8	16	19	51
Эрозии без нависающих краев	45	21	14	14
Тофусы	33	23	12	26

В качестве ИП-результата симптома эрозий с нависающими склеротическими краями рассматривались наблюдения с отчетливо видимой низкоинтенсивной линией, прилежащей к тофусу у пациентов с ПА.

К ИО МР-паттернам были отнесены наблюдения с отсутствием данного признака у пациентов без установленного диагноза. К ЛП-результатам относилась МР-картина эрозий округлой формы, а также кисты, симулирующие симптом нависающих краев у пациентов с другими ревматическими заболеваниями суставов. Наибольшее количество определялось как ЛО-результаты у пациентов с ПА, у которых данный признак не выявился, вероятно, за счет несформированности для МРТ-визуализации.

К ИП МР-паттерну эрозий без нависающих краев относилось выявление данного признака у пациентов с ПА, в том числе выявление эрозий с отчетливо прилежащим тофусом, как правило, крупного размера. К ИО-результатам данного признака было отнесено отсутствие визуализации эрозий у пациентов без верифицированного диагноза ПА. В качестве ЛП МР-картины рассматривались эрозивные изменения, обусловленные другими нозологическими формами суставных патологий (ревматоидный, псориатический, кальций-пирофосфатный артрит). Ложноотрицательными считались результаты в случаях отсутствия подобного типа эрозий у пациентов с ПА.

При анализе возможности метода в визуализации тофусов было выявлено 33 ИП-результата в виде неоднородных узловых мягкотканых образований с гипоинтенсивным сигналом на T<sub>1</sub>ВИ, гипо-, изоинтенсивным сигналом на FSat у пациентов с верифицированным диагнозом ПА. К ИО МР-признакам тофуса было

отнесено отсутствие данного паттерна у пациентов группы сравнения. В качестве ЛП-результатов учитывалась визуализация ревматоидных узелков (по типу гранулем), симулирующие тофусы у пациентов с ревматоидным артритом. К ЛО-результатам привело отсутствие визуализации тофусов у пациентов с верифицированным ПА, вероятно, вследствие их малых размеров.

На рисунке 9 представлен клинический пример ИП-результата выявления тофуса при МРТ.

На рисунке 10 представлен клинический пример ложноотрицательного результата тофуса.



Рисунок 9 – Больной ПА, 67 лет, стаж заболевания 13 лет.  
Рентгенография (а); МРТ коронарной плоскости T<sub>1</sub>ВИ (б); FSat (в);  
сагитт T<sub>1</sub>ВИ (г) левой стопы

На рисунке 9а видны крупные эрозии с обызвествленными тонкими нависающими краями в головке плюсневой кости и основании проксимальной

фаланги 1-го пальца. Кроме того, присутствует обширная деструкция головки плюсневой кости и основания проксимальной фаланги 1-го пальца без симптома «нависающих краев» в сочетании с обширным узловым образованием – тофусом – и полным отсутствием анатомического изображения 1-го плюсневых-фаланговых сустава (рисунки 9 б, в). В пограничных с тофусами участках костной ткани отека костного мозга нет (рисунок 9 г). Тофусы по подошвенной поверхности области 1-го плюсневых-фаланговых сустава и в области предплюсны и голеностопного сустава показаны на рисунках 9 б–г.

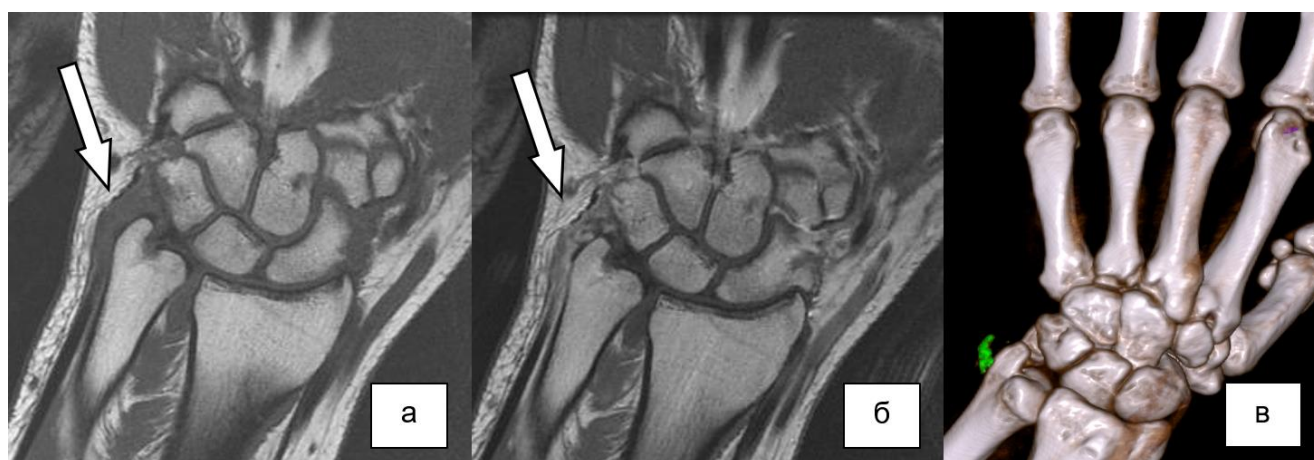


Рисунок 10 – Больной ПА, 55 лет, стаж заболевания 4 года. На нативной (а) и постконтрастной МРТ в T<sub>1</sub>ВИ (б) правого лучезапястного сустава определяется локальное утолщение синовиальной оболочки в области шиловидного отростка локтевой кости (белые стрелки), тофус не визуализируется.

Кристаллы моноурата натрия по данным ДЭКТ закодированы зеленым цветом (объем 0,14 см<sup>3</sup>) (в)

Показатели диагностической эффективности выявленных МРТ-симптомов пациентов основной группы и группы сравнения представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Показатели диагностической эффективности симптомов ПА по данным МРТ

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)

## Продолжение таблицы 23

МРТ-симптом	Se, % (95%ДИ)*	Sp, % (95%ДИ)*	Точность, % (95%ДИ)*
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			

Данные таблицы демонстрируют, что наибольшим показателем чувствительности обладают эрозии без нависающих краев (76,2%), а следующими по убывающим показателям чувствительности являются тофусы (55,9%). Наименьшими показателями чувствительности обладали эрозии с нависающими склеротическими краями (13,6%). Наибольшей специфичностью среди МР-паттернов обладали тофусы (65,7%), более низкой – эрозии с нависающими склеротическими краями (54,2%).

При анализе диагностической эффективности МРТ в выявлении подагрического артрита проводилась оценка исследуемых областей у 37 пациентов, включая стопы, коленные суставы, кисти и локтевые сочленения. Критерии интерпретации результатов были следующими: ИП считалось обнаружение патологии хотя бы в одной анатомической зоне, ИО – отсутствие изменений во всех обследованных участках. ЛО-результаты фиксировались при отсутствии визуальных изменений у пациентов с подтвержденным ПА, тогда как ЛП – при выявлении характерных для ПА изменений у лиц без установленного диагноза. Данные диагностической эффективности выявления подагрического артрита у пациентов с помощью МРТ исследования представлены в таблице 24.

Таблица 24 – 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								

В результате оценки диагностической эффективности выявления подагрического артрита с помощью МРТ было установлено, что чувствительность метода составила 56,0%. Данный показатель объяснялся значительным количеством ложноотрицательных результатов, которые были связаны с малыми размерами тофусов и отсутствием чётко выраженных нависающих склеротических краёв у эрозий. Причиной отсутствия достоверной визуализации МРТ являлась недостаточная сформированность вышеуказанных лучевых симптомов. Умеренная специфичность метода (75,0%) объяснялась наличием ЛП-результатов, которые были связаны с ошибочной интерпретацией мягкотканых образований, имитирующих тофусы, а также округлых околоуставных эрозий, имитирующих нависающие края. При этом метод обладает умеренно высоким показателем положительной прогностической ценности (83,4%) и низким показателем отрицательной прогностической ценности (45,0%).

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, от 5 до 10 лет и более 10 лет (таблица 25, 26).

Таблица 25 – Данные о результатах МРТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа (n)	Продолжительность заболевания	ИП		ЛО	
		Абс.	%	Абс.	%
Первая (n=4)	До 5 лет	1	25,0	3	75,0
Вторая (n=13)	От 5 до 10 лет	8	61,5	5	38,5
Третья (n=8)	Более 10 лет	5	62,5	3	37,5

Таблица 26 – Чувствительность МРТ в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Продолжительность заболевания	Se, % (95%ДИ)*
Первая	До 5 лет	25,0 (0,63 - 80,6)
Вторая	От 5 до 10 лет	61,5 (31,6 - 86,1)
Третья	Более 10 лет	62,5 (24,5 - 91,5)

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.

### 3.4 Сопоставление результатов рентгенографии, КТ и МРТ в оценке лучевых симптомов подагрического артрита

Сравнительные данные о диагностической информативности рентгенографии, КТ и МРТ в оценке лучевых симптомов представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Диагностическая эффективность лучевых симптомов подагрического артрита при рентгенографии, КТ и МРТ

Лучевой симптом	Rg			КТ			МРТ		
	Se, %	Sp, %	Acc, %	Se, %	Sp, %	Acc, %	Se, %	Sp, %	Acc, %
Эрозии с нависающими склеротическими краями	34,8	91,8	56,7	42,9	92,2	60,2	13,6	54,2	25,5
Эрозии без нависающих краев	58,7	19,5	43,7	73,2	7,7	50,2	76,2	60,0	70,2
Мягкотканый компонент тофуса/Тофусы	12,9	98,9	56,7	21,8	90,9	46,1	55,9	65,7	59,5
Симптом «пробойника»	10,9	95,9	51,9	34,5	85,7	52,5	–	–	–

Приведенные в таблицах данные наглядно демонстрируют преимущества рентгенологических методов в визуализации эрозий с нависающими склеротическими краями как в аспекте чувствительности, так и в специфичности по сравнению с данными МРТ. Среди рентгенологических методов чувствительность КТ превосходит чувствительность Р-графии при всех типах эрозий и симптоме пробойников.

В целом диагностическая эффективность рутинной КТ и МРТ в выявлении эрозий без нависающих краев сопоставима по чувствительности. При этом МРТ демонстрирует очевидное преимущество в специфичности эрозий без нависающих краев, в том числе за счет того, что данный симптом чаще ассоциировался с наличием примыкающих тофусов.

Что касается диагностической эффективности методов применительно к тофусам, то имеется безусловное существенное преобладание чувствительности МРТ при сниженной специфичности.

### **3.5 Результаты двухэнергетической компьютерной томографии**

ДЭКТ-исследование выполнено 112 пациентам с подозрением на ПА. У 73 из них диагноз был подтвержден, у 39 больных исключен. Сканирование выполнялось в области стоп, коленных суставов, кистей и локтевых суставов. Результаты оценивались по наличию или отсутствию кристаллов МУН по данным ДЭКТ в зависимости от диагноза пациента. Кристаллами МУН считались зеленые пиксели с объемом более  $0,01 \text{ см}^3$  с типичным расположением в костях и околосуставных мягких тканях, имеющих мягкотканную оболочку и/или имеющих узловатую форму (рисунок 11).

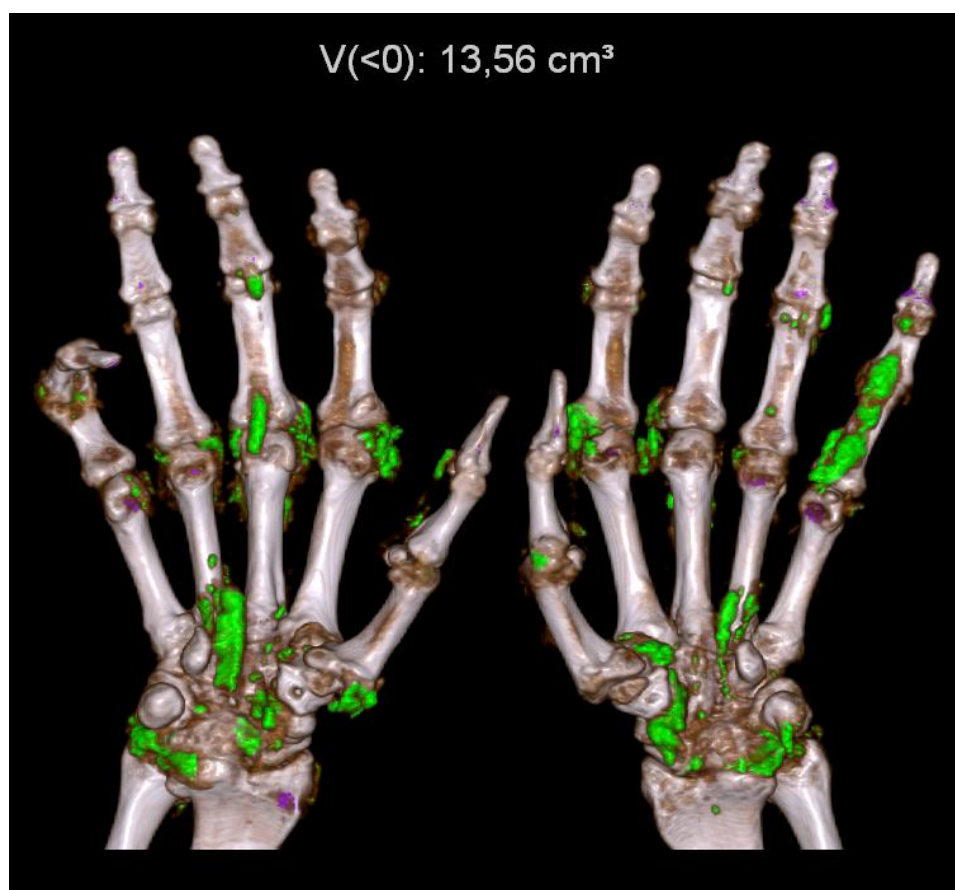


Рисунок 11 – Больной подагрическим артритом, возраст 67 лет, продолжительность заболевания 11 лет. На 3D-реконструкции ДЭКТ-исследования кистей определяются множественные депозиты кристаллов МУН, закодированные зеленым цветом, суммарным объемом  $13,56 \text{ cm}^3$

При интерпретации данных за ИП-результат принимали обнаружение кристаллов МУН хотя бы в одной из обследуемых анатомических областях у пациентов с верифицированным диагнозом ПА. ИО-результат – отсутствие кристаллов МУН во всех исследованных зонах у пациентов без подтвержденного диагноза. Критерием ЛП-результата являлось наличие артефактов в виде уратоподобных пикселей у пациентов без ПА. ЛО-результат регистрировали у больных с верифицированным подагрическим артритом при отсутствии визуализации кристаллов МУН.

Результаты определения диагностической эффективности ДЭКТ представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Диагностическая эффективность ДЭКТ в выявлении подагрического артрита путем обнаружения кристаллов МУН.

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								

Результаты исследования демонстрируют высокую диагностическую эффективность двухэнергетической компьютерной томографии в детекции кристаллов моноурата натрия у пациентов основной группы и группы сравнения.

Среди пациентов с верифицированным диагнозом (n=73) кристаллы МУН были идентифицированы у 59 человек (ИП), при этом у 14 больных депозитов кристаллов МУН обнаружено не было (ЛО). Такое количество ЛО-результатов обусловлено малым объемом кристаллов МУН, которые недоступны для визуализации с помощью ДЭКТ, что повлияло на чувствительность метода (80,8%).

В группе пациентов без подагры (n=39) у двух больных были зарегистрированы ложноположительные результаты, что привело к снижению специфичности, тем не менее оставив её на высоком уровне – 94,9%. Это связано с ошибочным интерпретированием кристаллов МУН за счет наличия артефактов.

В качестве иллюстрации ЛП-результата при ДЭКТ-исследовании приведен рисунок 12.



Рисунок 12 – Пациент с диагнозом остеоартроз, возраст 63 года.  
На 3D-реконструкции ДЭКТ правой стопы определяются артефакты в области 1-го плюснефалангового сустава, головки 2-й плюсневой кости и ногтевого ложа 1-го пальца в виде уратоподобных пикселей

Учитывая неоднозначность данных относительно возможностей визуализации кристаллов моноурата натрия с помощью двухэнергетической компьютерной томографии на ранних стадиях подагрического артрита, нами был проведен анализ чувствительности данного метода у пациентов с различной продолжительностью заболевания.

В связи с этим все пациенты с подагрическим артритом, включённые в исследование и прошедшие ДЭКТ (n=73), были распределены на три 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) (таблица 29).

Таблица 29 – Распределение пациентов с подагрическим артритом по длительности заболевания

Подгруппа	Количество (n)	Продолжительность заболевания
Первая подгруппа	22	Более 5 лет
Вторая подгруппа	30	5–10 лет
Третья подгруппа	21	Более 10 лет

Данные о распределении результатов, выявленных при ДЭКТ, у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Результаты ДЭКТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Продолжительность заболевания	ИП		ЛО	
		Абс.	%	Абс.	%
Первая	До 5 лет	15	68,2	7	31,8
Вторая	От 5 до 10 лет	26	86,7	4	13,3
Третья	Более 10 лет	18	85,7	3	14,3

Согласно данным таблицы наибольшее число ЛО-результатов зафиксировано в первой подгруппе. Показатели остальных групп ниже и имеют сопоставимые значения.

В качестве иллюстрации ЛО-результата при ДЭКТ-исследовании приведен рисунок 13.

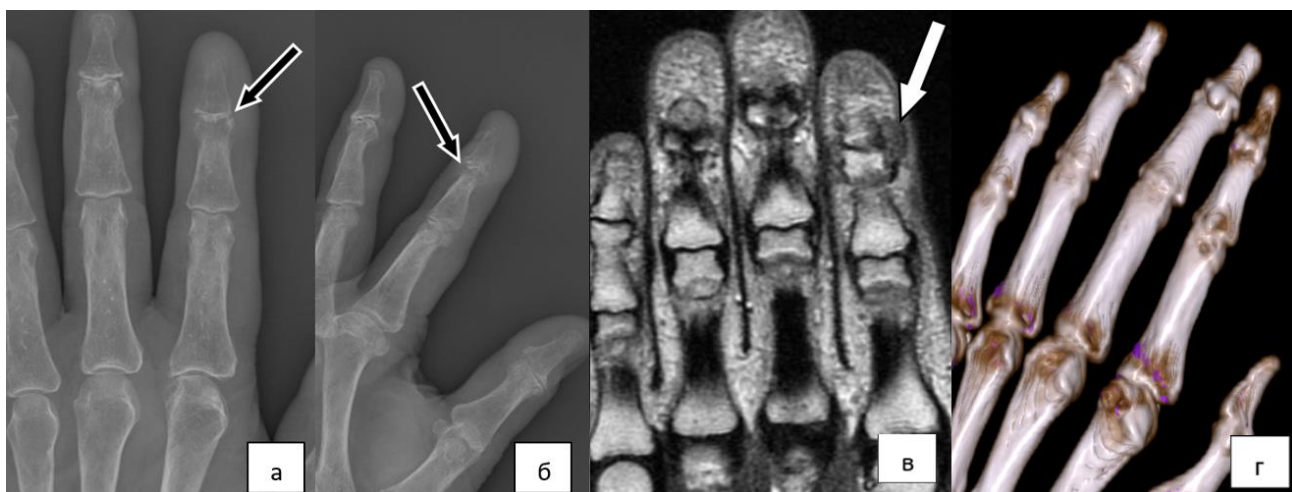


Рисунок 13 – Результаты исследования правой кисти больной З., 83 года: рентгенография в прямой (а), косой (б) проекциях; МРТ в Т<sub>2</sub>ВИ (в); 3D-реконструкция ДЭКТ-исследования (г)

Больная З. обратилась с болями в кистях, длящимися в течение 15 лет. В течение 2 месяцев в дистальном отделе 2-го пальца правой кисти наблюдался отек, гиперемия мягких тканей в сочетании с выраженным болевым синдромом. Высказано подозрение о панариции, выполнено дренирование зоны отека, гноя не обнаружено, выделились крошковидные массы. На фоне остеопороза выявлена плоская эрозия по радиальной поверхности костей дистального межфалангового сустава и локализованная эрозия по тыльной поверхности основания ногтевой фаланги 2-го пальца правой кисти (черные стрелки) (рисунок 13 а, б). На нативных МРТ Т<sub>2</sub>ВИ правой кисти по радиальной поверхности дистального межфалангового сустава 2-го пальца – низкоинтенсивная локализованная контурированная структура овальной формы (1,0×0,6 см), расцененная как тофус (белая стрелка) (рисунок 13 в). По данным ДЭКТ кристаллов МУН в кистях не выявлено (рисунок 13 г).

Результаты, выявленной чувствительности ДЭКТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Показатели чувствительности ДЭКТ у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от продолжительности заболевания

Подгруппа	Продолжительность заболевания	Se, % (95%ДИ)*
Первая	До 5 лет	68,2 (46,4–84,2)
Вторая	От 5 до 10 лет	86,6 (70,3–94,7)
Третья	Более 10 лет	85,7 (64,5–95,8)
Примечание: * ДИ – доверительный интервал		

Наименьший показатель чувствительности метода ДЭКТ (68,2%) был зафиксирован в группе пациентов с продолжительностью заболевания менее 5 лет. Основной причиной послужило наибольшее число ложноотрицательных результатов ( $n=7$ ) именно в этой подгруппе. Детальный анализ выявил, что пять ЛО-результатов были получены у пациентов со стажем заболевания менее трёх лет, а два – со стажем от трёх до пяти лет. Вероятной причиной данного явления может служить недостаточная сформированность кристаллов МУН, недоступная для визуализации при ДЭКТ-исследовании.

Показатели чувствительности в остальных исследуемых группах были статистически схожими и находились в зоне умеренно высоких значений (86,6% и 85,7%). При этом наблюдается минимальное увеличение показателя на 1% в группе с длительностью заболевания от 5 до 10 лет.

Далее была проведена проверка статистических значимых различий в исследуемых подгруппах с использованием двустороннего точного критерия Фишера, который показал отсутствие статистически значимых различий в исследуемых группах ( $p = 0,25$ ).

### **3.6 Сопоставление результатов диагностической эффективности рентгенографии, КТ, МРТ и ДЭКТ в диагностике подагрического артрита**

Показатели диагностической эффективности методов лучевой диагностики в выявлении подагрического артрита представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Диагностическая эффективность в выявлении подагрического артрита рентгенографии, стандартной КТ, МРТ и ДЭКТ

Метод	Результат (n)				Диагностическая эффективность		
	ИП	ИО	ЛО	ЛП	Se, %	Sp, %	Точность, %
Rg	44	45	47	4	48,3	91,8	63,5
КТ	44	36	29	3	60,3	92,3	66,9
МРТ	14	9	11	3	56,0	75,0	62,2
ДЭКТ	59	37	14	2	80,8	94,9	85,7
p-value*	–				<0,001	0,2	<0,001

Примечание: \* – Генерализованная модель обобщённых уравнений (тест Вальда  $\chi^2$ )

Согласно данным таблицы наибольшую диагностическую эффективность демонстрирует двухэнергетическая компьютерная томография.

Показатель чувствительности метода составил 80,8%, что превышает аналогичные значения для рентгенографии (48,3%), стандартной КТ (60,3%) и МРТ (56,0%). Высокий показатель данного параметра у ДЭКТ обусловлен минимальным количеством ложноотрицательных результатов. Данное преимущество связано с непосредственной визуализацией кристаллов МУН, тогда как остальные методы определяют структурные изменения.

Показатель специфичности ДЭКТ оказался высоким (94,9%), несколько превышая аналогичные показатели стандартной КТ (92,3%) и рентгенографии (91,8%). Различия данных параметров заключаются в разнице количества ЛП-результатов. При этом наименьшим показателем специфичности обладает МРТ (75,0%). Преимущество ДЭКТ в специфичности обусловлено тем, что другие используемые лучевые модальности требуют дифференциации структурных изменений с другими ревматологическими заболеваниями, так как недостаточно сформированные лучевые симптомы ПА могут имитировать признаки ревматоидного, псориатического, кальций-пирофосфатного артритов и остеоартроза.

Несмотря на умеренно высокую чувствительность, ДЭКТ обладает лидерством по общей точности (85,7%) в диагностике подагрического артрита.

Преимущество над рентгенографией (63,5%) и стандартной КТ (66,9%) обеспечено более высокой чувствительностью, а превосходство над МРТ – высокими показателями как чувствительности, так и специфичности. Преимущество ДЭКТ в точности обусловлена наибольшим процентом (80,8%) верных интерпретаций диагноза и наименьшим количеством ошибочно выявленных пациентов с ПА (n=2).

При сравнении диагностических методов были выявлены статистически значимые различия в их чувствительности и точности. Попарное сравнение представлено в таблице 33.

Таблица 33 – Попарное сравнение статистически значимых различий

Метод	Чувствительность, p-value*	Специфичность, p-value*	Точность, p-value*
Рентгенография/КТ	0,5	>0,9	0,6
Рентгенография/МРТ	>0,9	0,5	>0,9
Рентгенография/ДЭКТ	<0,001	>0,9	<0,001
КТ/МРТ	>0,9	0,6	0,6
КТ/ДЭКТ	0,047	>0,9	0,039
МРТ/ДЭКТ	0,057	0,5	0,017
Примечание: * – Попарные сравнения на основе оценённых предельных средних (поправка Холма)			

Данные таблицы демонстрируют статистически значимые различия в показателях чувствительности и точно между рентгенографией и ДЭКТ, рутинной КТ и ДЭКТ, а также в показателе точности между МРТ и ДЭКТ. При этом существует тенденция, которая не достигла статистической значимости в различии чувствительности между МРТ и ДЭКТ, вероятно, это обусловлено малой выборкой пациентов, прошедших МРТ-исследование.

### 3.7 Сопоставление результатов рентгенографии, КТ, МРТ и ДЭКТ в зависимости от продолжительности заболевания

Показатели чувствительности методов лучевой диагностики в выявлении подагрического артрита представлены в таблице 34.

Данные таблицы демонстрируют тенденцию к снижению чувствительности, используемых лучевых модальностей у пациентов с ПА в группе с продолжительностью заболевания до 5 лет. При этом наименьшим показателем обладает рентгенография (35,7%), на втором месте показатель чувствительности рутинной КТ (45,5%).

Таблица 34 – Показатели чувствительности рентгенографии, стандартной КТ, МРТ и ДЭКТ у пациентов с ПА в зависимости от продолжительности заболевания

Группа	Чувствительность, %			
	Rg	КТ	МРТ	ДЭКТ
Первая	35,7	45,5	25,0	68,2
Вторая	51,6	63,3	61,5	86,6
Третья	56,2	71,4	62,5	85,7

Наибольшими показателями во всех исследуемых группах обладает ДЭКТ, в том числе в группе с продолжительностью болезни до 5 лет (68,2%). Вероятно, это обусловлено различием в визуализации: в то время как рентгенография и рутинная КТ выявляют изменения костной ткани, ДЭКТ напрямую определяет причину этих изменений – кристаллы МУН.

Анализ влияния длительности заболевания на чувствительность используемых методов представлен в таблице 35 и таблице 36.

Таблица 35 – Влияние продолжительности подагрического артрита на чувствительность рентгенографии, рутинной КТ, МРТ и ДЭКТ

Фактор	p-value*
Диагностический метод	<0,001
Продолжительность заболевания	0,003
Диагностический метод × длительность заболевания	>0,9
Примечание: * – генерализованная модель обобщённых уравнений (тест Вальда $\chi^2$ )	

Статистически значимое влияние на чувствительность оказали фактор метода визуализации ( $p\text{-value} < 0,001$ ) и фактор длительности болезни ( $p\text{-value} = 0,003$ ). Их взаимодействие оказалось статистически незначимым ( $p\text{-value} > 0,9$ ), что свидетельствует об отсутствии различий в характере изменения диагностической эффективности методов при увеличении длительности заболевания.

Таблица 36 – Попарное сравнение чувствительности диагностических методов в зависимости от продолжительности заболевания

Длительность заболевания	Rg / КТ	Rg / МРТ	Rg / ДЭКТ	КТ / МРТ	КТ / ДЭКТ	МРТ / ДЭКТ
Менее 5 лет	0,4	0,9	<0,001	0,6	0,041	0,019
От 5 до 10 лет	0,4	0,9	<0,001	0,6	0,041	0,019
Более 10 лет	0,4	0,9	<0,001	0,6	0,041	0,019

Попарные сравнения показали, что во всех подгруппах длительности заболевания ДЭКТ имела достоверно более высокую чувствительность по сравнению с рентгенографией ( $p < 0,001$ ), КТ ( $p = 0,041$ ) и МРТ ( $p = 0,019$ ). Различия между рентгенографией, КТ и МРТ во всех группах длительности заболевания были статистически незначимыми ( $p > 0,05$ ).

### 3.8 Определение влияния клиничко-лабораторных данных на результаты ДЭКТ-исследования у пациентов с подагрическим артритом

Для оценки наличия и характера связей между клиничко-лабораторными данными и результатами ДЭКТ-исследования у пациентов с подозрением на подагрический артрит ( $n = 112$ ) был проведен статистический анализ (таблица 37).

Таблица 37 – Результаты сравнения характеристик пациентов в группах

Характеристика		Основная группа ( $n = 73$ )*	Группа сравнения ( $n = 39$ )*	p-value**
Пол	Мужской	60 (82%)	12 (31%)	<0,001
	Женский	13 (18%)	27 (69%)	
Продолжительность заболевания, годы		7 (4–10)	4 (2–16)	0,4

## Продолжение таблицы 37

Характеристика		Основная группа (n = 73)*	Группа сравнения (n = 39)*	p-value**
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				

Проведенный анализ характеристик пациентов выявил значительное преобладание мужского пола среди больных с верифицированным диагнозом подагрического артрита (основная группа). Биохимические исследования показали существенные различия в показателях мочевой кислоты между группами: у пациентов с подтвержденным ПА средний уровень гиперурикемии составлял 453,5±113,9 мкмоль/л, что достоверно превышало аналогичный показатель в группе сравнения (348,5±105,3 мкмоль/л;  $p < 0,001$ ).

Результаты двухэнергетической компьютерной томографии продемонстрировали высокую диагностическую значимость метода для верификации подагрического артрита. Кристаллы моноурата натрия были идентифицированы у 81% пациентов основной группы (59 из 73 случаев), что подтверждает высокую чувствительность данного метода визуализации. В группе сравнения ложноположительные результаты, характеризующиеся выявлением кристаллов МУН, наблюдались лишь в 10% случаев (4 пациента из 39), что свидетельствует о высокой специфичности ДЭКТ-диагностики ( $p < 0,001$ ).

Далее был проведен сравнительный анализ пациентов с подагрическим артритом в зависимости от наличия или отсутствия отложения кристаллов МУН по результатам ДЭКТ, при котором были выявлены статистически значимые различия (таблица 38).

Таблица 38 – Результаты сравнительного анализа показателей больных подагрическим артритом в зависимости от наличия или отсутствия кристаллов МУН при ДЭКТ-исследовании

Характеристика		Наличие кристаллов МУН по данным ДЭКТ		p-value**
		Да (n = 59)*	Нет (n = 14)*	
Пол	Мужской	47 (80%)	13 (93%)	0,4
	Женский	12 (20%)	1 (7,1%)	
Продолжительность заболевания, годы		8 (4 – 12)	4,5 (2 – 7)	<b>0,033</b>
Продолжительность заболевания	Менее 5 лет	15 (25%)	7 (50%)	0,2
	5–10 лет	26 (44%)	4 (29%)	
	Более 10 лет	18 (31%)	3 (21%)	
Концентрация мочевой кислоты в крови, мкмоль/л		470,6±109,2	381,5±108,5	<b>&lt;0,001</b>
Концентрация мочевой кислоты в крови	≤420 мкмоль/л	18 (31%)	11 (79%)	<b>0,033</b>
	>420 мкмоль/л	41 (69%)	3 (21%)	
Примечания: * – n (%); медиана (Q1-Q3); среднее ± СО; ** – точный критерий Фишера; двухвыборочный t-тест; критерий согласия Пирсона $\chi^2$ ; U-критерий Манна – Уитни				

Проведенный анализ выявил существенные различия между группами пациентов в зависимости от наличия кристаллов моноурата натрия, обнаруженных при диагностическом обследовании. В группе больных, у которых не были выявлены кристаллические отложения, медиана продолжительности заболевания составила 4,5 года с межквартильным размахом от 2 до 7 лет. В сравнении с этим у пациентов с подтвержденным наличием кристаллов МУН длительность заболевания была достоверно больше: медиана достигла 8 лет при межквартильном диапазоне от 4 до 12 лет ( $p < 0,05$ ).

Особый интерес представляют выявленные различия биохимических показателей между группами. У пациентов с обнаруженными кристаллами МУН

средний уровень мочевой кислоты в сыворотке крови составлял  $470,6 \pm 109,2$  мкмоль/л, что значительно превышало аналогичный показатель в группе без кристаллических отложений ( $381,5 \pm 108,5$  мкмоль/л). Статистический анализ подтвердил высокую значимость этих различий ( $p < 0,001$ ), что наглядно представлено на рисунке 14.

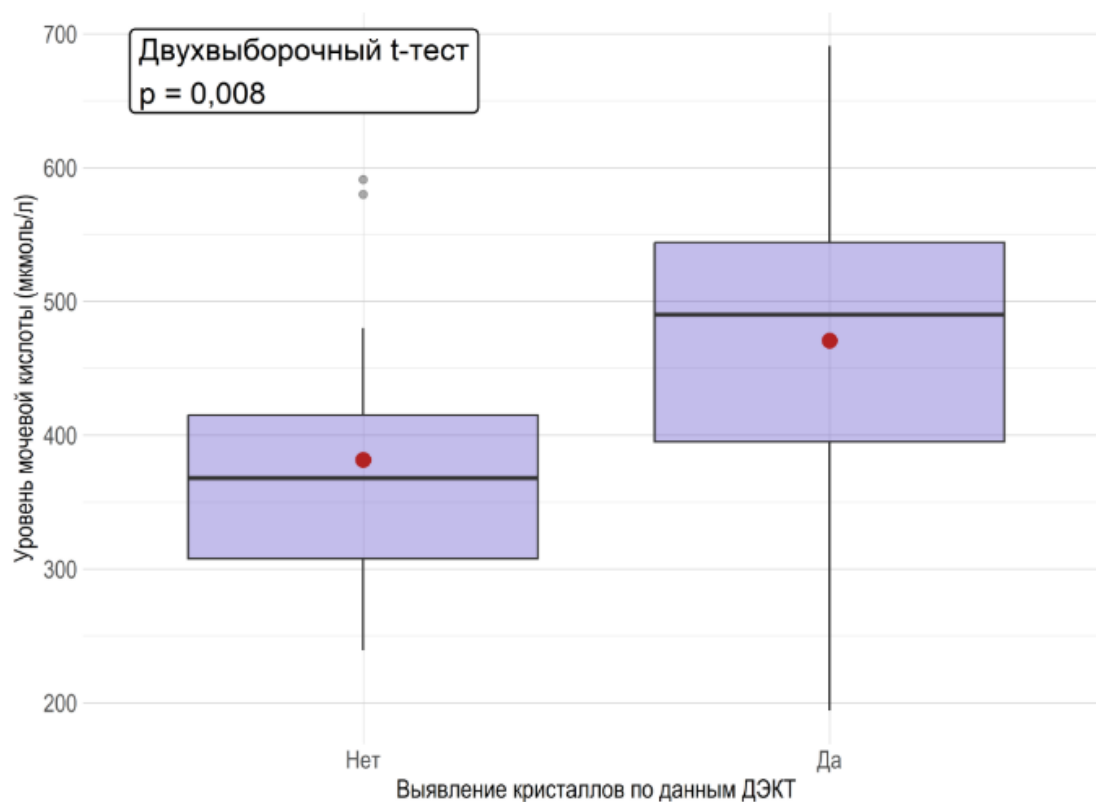


Рисунок 14 – Распределение концентрации МК в крови у пациентов с подагрическим артритом в зависимости от наличия кристаллов МУН по данным ДЭКТ

При этом среди пациентов с кристаллами МУН по данным ДЭКТ 69% имели уровень МК в крови более 420 мкмоль/л, в то время как в противоположной группе у 79% больных уровень МК не превышал 420 мкмоль/л.

### 3.8.1 Модель логистической регрессии с определением предикторов выявления наличия кристаллов МУН по данным ДЭКТ

Для комплексной оценки взаимосвязей между клинико-лабораторными показателями и обнаружением кристаллов моноурата натрия при ДЭКТ-

исследовании был проведен детальный статистический анализ с использованием методов логистической регрессии. Исследование включало как однофакторный, так и многофакторный подход, что позволило получить всестороннюю оценку изучаемых ассоциаций (таблица 39).

Таблица 39 – 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, годы		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					

Согласно таблице 39 проведенный логистический регрессионный анализ выявил значимые взаимосвязи между клинико-лабораторными параметрами и обнаружением кристаллов МУН при ДЭКТ-исследовании.

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), тогда 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 уравнениями

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

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

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.

Полученные результаты подчеркивают нелинейный характер накопления уратных отложений с особенно выраженным увеличением вероятности их обнаружения при длительном течении заболевания. Эти данные имеют важное значение для клинической практики, указывая на необходимость особого внимания к пациентам с длительным анамнезом подагры и стойкой гиперурикемией при планировании ДЭКТ-исследований.

### 3.8.2 Оценка диагностической эффективности регрессионной модели

Для определения диагностической ценности регрессионной модели выполнен ROC-анализ (рисунок 15).

Проведенная оценка диагностической точности разработанного алгоритма продемонстрировала высокую дифференцирующую способность, что подтверждается значением площади под ROC-кривой (AUC) 0,79. Такой показатель AUC, находящийся в диапазоне 0,7–0,8, согласно общепринятым критериям интерпретации, свидетельствует об умеренной дискриминационной способности модели.

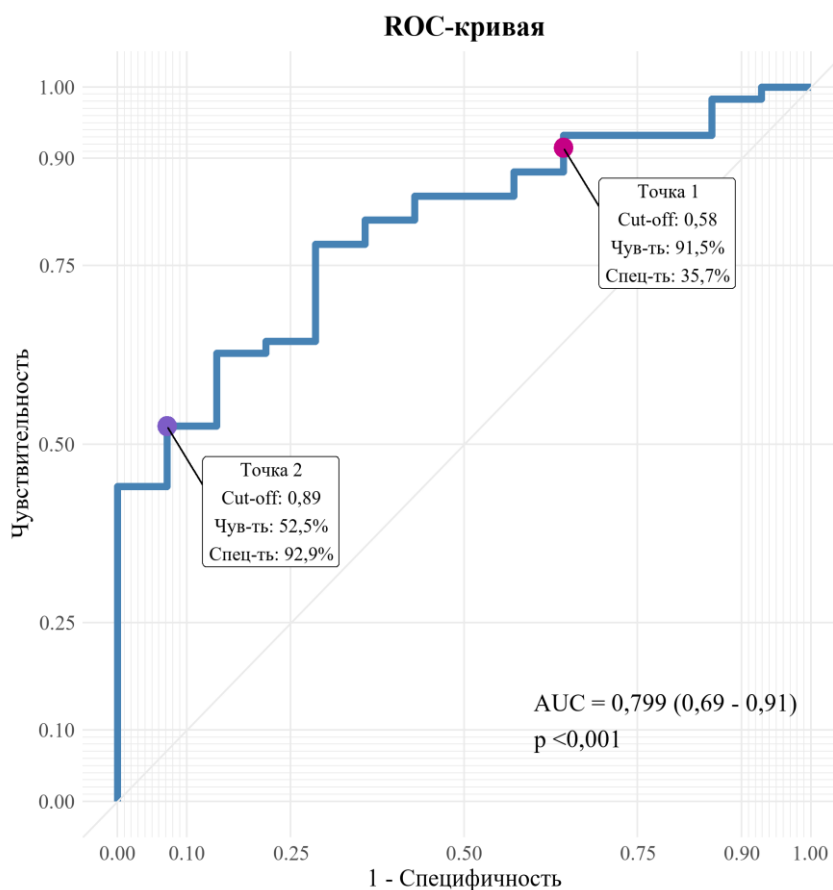


Рисунок 15 – ROC-кривая для прогностической модели,  
разработанной на основе логистической регрессии

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 верхний 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.

Для сравнительной оценки чувствительности и специфичности при различных пороговых значениях представлен рисунок 16.

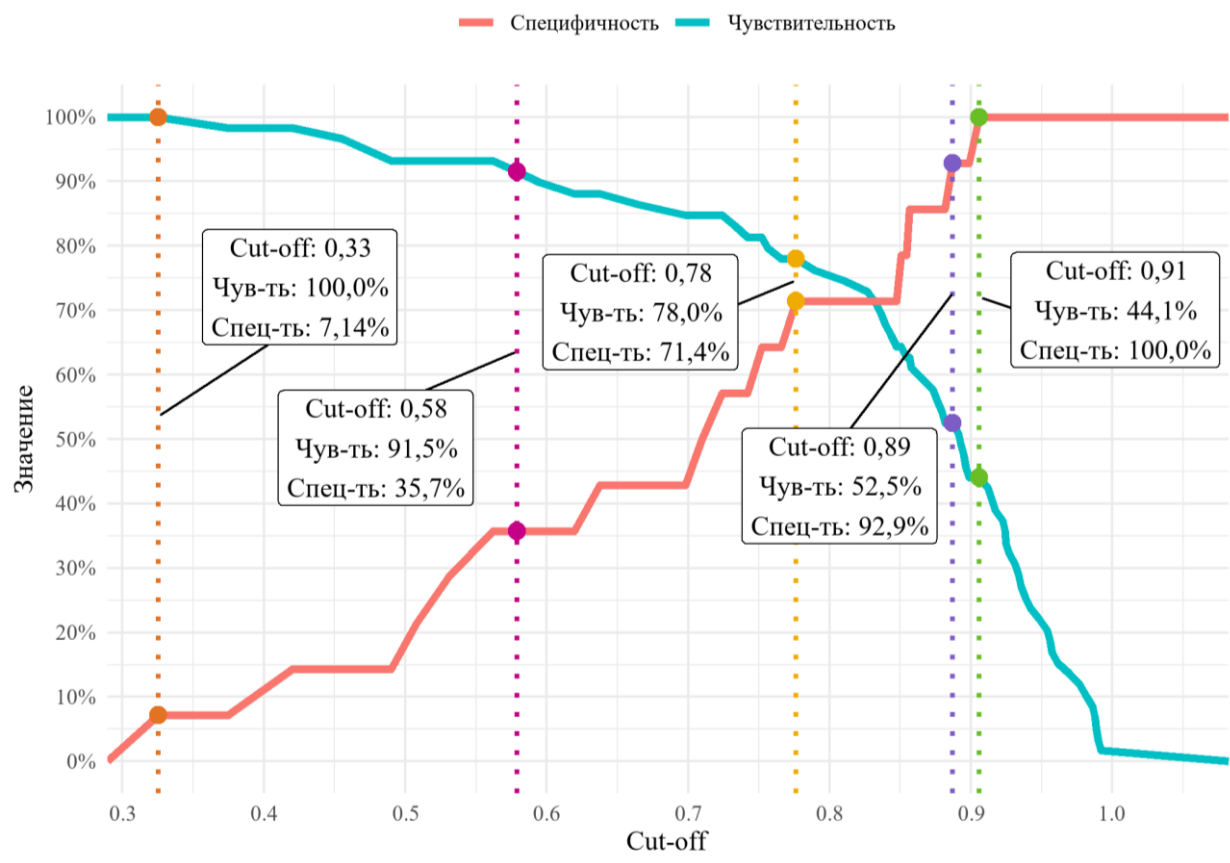


Рисунок 16 – Сравнение чувствительности и специфичности при различных пороговых значениях

При сравнительном анализе были рассчитаны пороговые значения, при этом прогностическая модель не пропустила ни одного пациента с наличием кристаллов МУН по данным ДЭКТ (0,33), а также модель не ошиблась ни разу в отношении пациентов без кристаллов (0,91) в исследуемой группе настоящей диссертационной работы. Чувствительность и специфичность для данных пороговых значений составили 100%, 7,1% и 44,1%, 100% соответственно. Кроме того, проанализировано оптимальное пороговое значение вероятности по методу ближайшей точки к верхнему левому углу ROC-кривой, которое составило 0,78, что соответствовало чувствительности 78,0% и специфичности 71,4%.

### **Клинический пример 1**

Пациент А., 68 лет, обратился в ревматологическое отделение в плановом порядке с целью диагностики и лечения суставов.

Пациенту был выставлен диагноз «подагра»: подагрический артрит, рецидивирующее течение, фаза затихающего обострения на основании критериев клинических рекомендаций. Продолжительность заболеваний 4 года, концентрация мочевой кислоты в крови 567 мкмоль/л.

С учетом модели вероятность наличия кристаллов по данным ДЭКТ высокая и составляет 0,89 (P (0,89) соответствует cut-off (0,89)). По данным ДЭКТ было выявлено наличие кристаллов МУН в области 1-го плюснефалангового сустава правой стопы объемом 0,24 см<sup>3</sup> (рисунок 17).

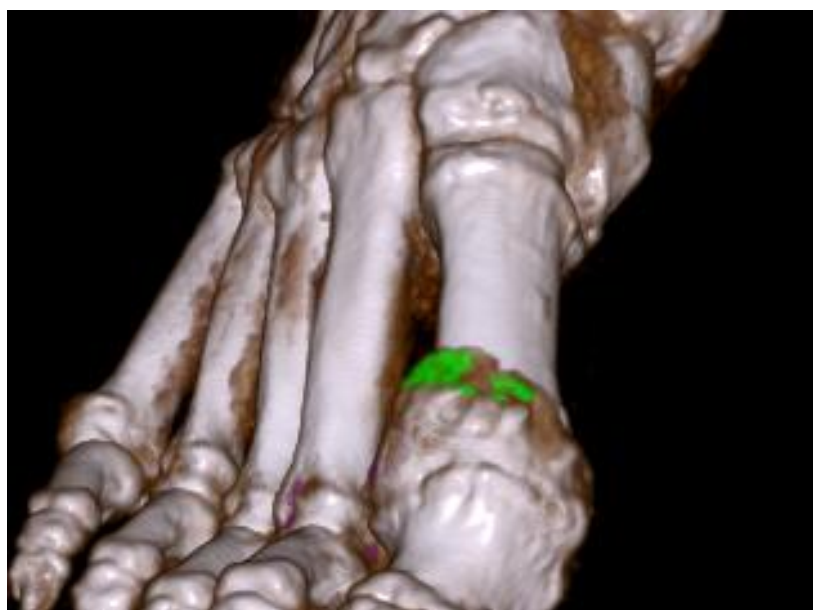


Рисунок 17 – 3D-реконструкция ДЭКТ-исследования правой стопы

### **3.9 Определение характера связей между объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ и клинико-лабораторным данным**

Так как уровень мочевой кислоты в крови является важнейшим маркером для постановки диагноза, был проведен корреляционный анализ с использованием коэффициента корреляции Спирмена для определения наличия и

характера связей между концентрацией МК в крови и объемом кристаллов МУН, выявленных при ДЭКТ-исследовании, у пациентов с подагрическим артритом.

Дополнительно выполнен стратифицированный анализ с использованием метода Холма в подгруппах пациентов с разной длительностью заболевания: менее 5 лет, 5–10 лет и более 10 лет (таблица 40).

Проведенный статистический анализ с применением поправки Холма для множественных сравнений продемонстрировал отсутствие достоверной корреляционной зависимости между концентрацией мочевой кислоты в сыворотке крови и количественным объемом кристаллов моноурата натрия, определяемым методом двухэнергетической компьютерной томографии (коэффициент корреляции  $r=0,18$  при  $p=0,73$ ). Эти данные свидетельствуют о том, что гиперурикемия, являясь фундаментальным метаболическим нарушением при подагре, не всегда прямо пропорциональна степени тканевого накопления уратов.

Таблица 40 – 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 кол-во (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			

Для более детальной оценки потенциальных взаимосвязей был проведен стратифицированный анализ в зависимости от длительности течения заболевания:

- в группе пациентов с относительно недавним началом болезни (стаж менее 5 лет) выявлено отсутствие корреляции ( $r=0,10$ ), статистическая значимость которой не была подтверждена ( $p=0,74$ ). Этот неожиданный результат

может отражать особенности начальных этапов формирования тофусных отложений;

- в когорте больных со средним сроком заболевания (5–10 лет) также наблюдалось отсутствие взаимосвязи ( $r=0,18$ ), которая не достигла порога статистической значимости ( $p=0,74$ );

- наиболее выраженная положительная ассоциация была зарегистрирована у пациентов с длительным течением подагры (более 10 лет), где коэффициент корреляции  $r$  составил 0,32 и отражает слабую взаимосвязь. Несмотря на очевидную тенденцию к усилению связи между изучаемыми параметрами, полученное значение  $p=0,073$  не позволило признать эту корреляцию статистически значимой при общепринятом уровне  $p<0,05$ .

Связь между уровнем мочевой кислоты в крови и объемом кристаллов МУН при ДЭКТ-исследовании усиливается с увеличением продолжительности болезни, но даже при длительном ее течении остается статистически незначимой. Это подтверждает сложный, многофакторный механизм образования кристаллов при подагре.

### **3.10 Совершенствование диагностического алгоритма у пациентов с подагрой**

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

Учитывая высокую коморбидность подагры, в процессе диагностики учитываются факторы риска. Первым этапом рекомендуется определять факторы риска наличия заболевания – хронической болезни почек, ожирения, гипертонии. Также необходимо собрать данные о наличии семейного анамнеза вышеупомянутых заболеваний, образе жизни и приеме лекарственных препаратов.

Особое внимание уделяется жалобам пациента и физикальному осмотру, а именно, наличию внезапной атаки артрита с быстрым развитием выраженной боли и воспалением, сопровождающихся отеком и эритемой, особенно если типичные симптомы приступа острого артрита затрагивают суставы стоп, а точнее 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 является изучение лабораторных данных: 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.

При этом нельзя забывать о трудности забора материала из мелких суставов для адекватного микроскопического анализа, а также о сопутствующих осложнениях 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 включена ДЭКТ. Основываясь на высокой

диагностической эффективности метода, которая имела место и в настоящем исследовании, мы предлагаем использование ДЭКТ в качестве метода обследования пациентов с подозрением на подагрический артрит при отрицательном результате данных 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. Такая модель определит не только необходимость и целесообразность проведения ДЭКТ-исследования во избежание дополнительной лучевой нагрузки на пациента, но и повысит информативность метода.

В связи с этим для 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.

Для наглядности усовершенствованный алгоритм диагностики представлен на рисунке 18.

Таким образом, оптимизация алгоритма исследования больных с подозрением на подагру предусматривает использование прогностической модели и ДЭКТ в качестве диагностики пациентов с подозрением на подагрический артрит. Такой подход применяется в случае, когда проведение «золотого стандарта» невозможно или результат его исследования отрицательный.

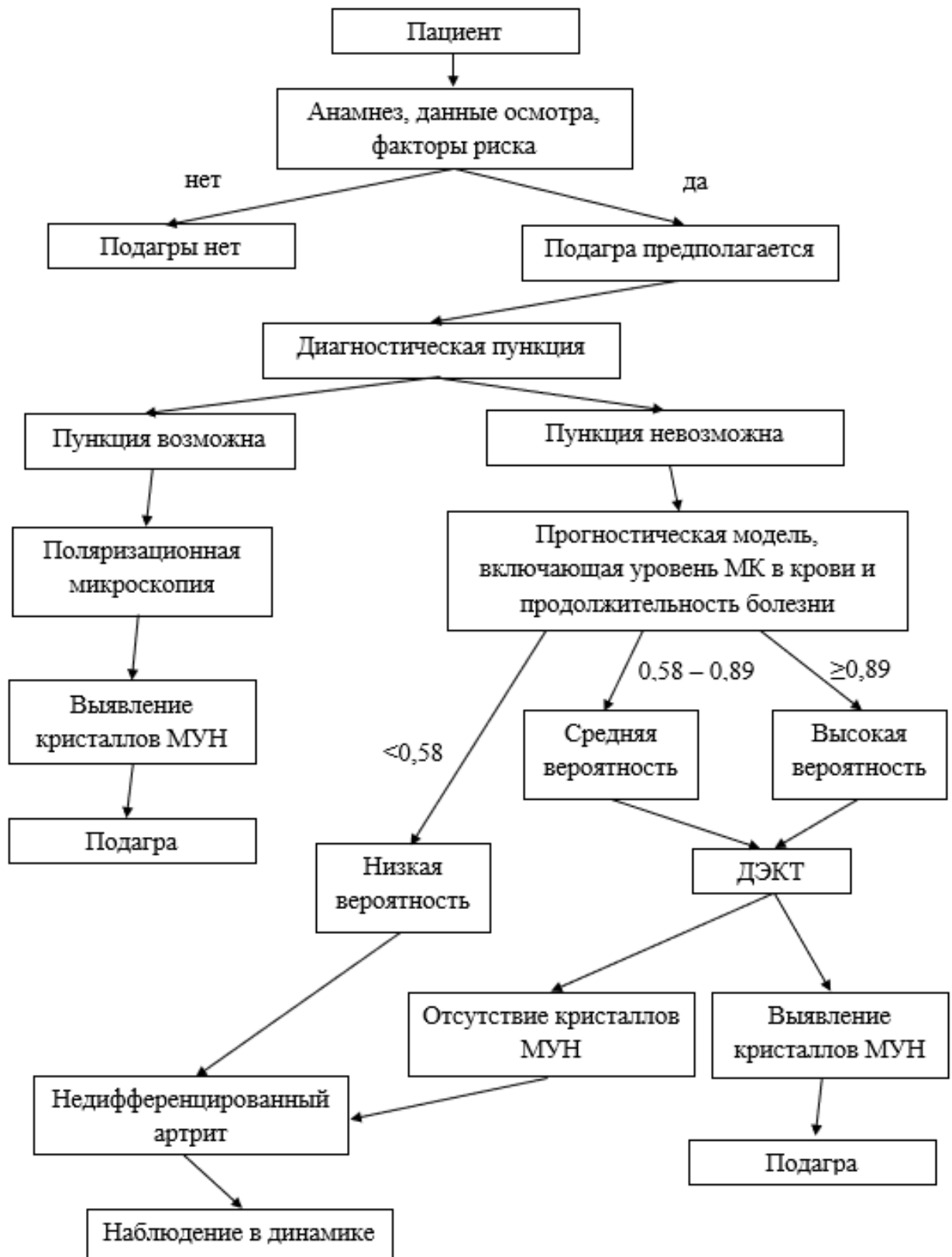


Рисунок 18 – Оптимизированный алгоритм диагностики пациентов с подозрением на подагрический артрит с включением прогностической модели

## Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ

По данным современных исследований, подагрой страдают порядка 41 миллиона человек по всему миру [48]. Уровень заболеваемости достигает примерно 3,9% среди населения США, колеблется от менее 1% до 6,8% в западных странах, в Китае составляет 1,1% и может достигать до 10% в некоторых регионах [37, 135]. Высокая распространенность болезни в первую очередь связана с изменением образа жизни – это повышенное потребление белка и гиподинамия. Нельзя не упомянуть и о дополнительных факторах риска, таких как употребление алкоголя, некоторые лекарственные средства, ожирение и другие сопутствующие заболевания, а также генетическая предрасположенность [43, 96]. Отсутствие адекватной уратоснижающей терапии приводит к серьезным осложнениям, значительно повышая риск потери трудоспособности [19]. Вышеперечисленные факты подчеркивают важность своевременной диагностики, в том числе на начальных этапах, что делает подагру значимой медико-социальной проблемой.

Классическим проявлением подагры считается подагрический артрит, однако его диагностика сопряжена с рядом сложностей. Ключевые лабораторные критерии, такие как уровень МК в крови и выявление кристаллов МУН в синовиальной жидкости, не всегда обладают достаточной диагностической точностью. Кроме того, их определение связано с техническими трудностями и потенциальными рисками [3, 75]. Таким образом, диагноз должен быть обоснован наличием совокупности клинико-лабораторных и инструментальных признаков. В этих случаях используются лучевые методы диагностики, которые вносят огромный вклад не только в диагностику подагрического артрита, но и в другие заболевания опорно-двигательного аппарата.

Тем не менее, хотя классические и современные методы лучевой диагностики (рентгенография, стандартная КТ и МРТ) играют важную роль в выявлении подагрического артрита, они обладают определёнными ограничениями

в обнаружении типичных признаков заболевания, что подтверждается многочисленными научными данными [36, 42, 56, 61, 99, 110].

Рентгенография – быстрый и эффективный метод визуализации опорно-двигательного аппарата, в том числе при исследовании патологических изменений в случае подагрического артрита. Вместе с тем применение данного метода имеет ряд известных ограничений, в частности рентгенонегативный период, который может достигать 15 лет [1, 30, 36, 75, 85].

Согласно литературным данным, компьютерная томография играет вспомогательную роль в диагностике подагрического артрита. Несмотря на значительный вклад в оценку состояния костных структур и возможность идентификации мягкотканых компонентов за счёт измерения плотности, метод обладает низкой диагностической эффективностью [19, 22, 139].

Магнитно-резонансная томография обладает способностью визуализировать эрозивные изменения и подагрические тофусы благодаря высокой тканевой контрастности. Однако в литературе описаны случаи затруднений в диагностике при атипичной локализации проявлений подагрического артрита. Кроме того, эффективность МРТ снижается при малых размерах тофусов. Сохраняется и проблема дифференциальной диагностики с другими эрозивными артропатиями в случаях, когда типичные эрозии недостаточно сформированы [33, 36, 52].

Из-за указанных выше проблем в мире всё чаще внедряют двухэнергетическую компьютерную томографию для диагностики подагрического артрита. Метод показал высокую диагностическую эффективность, однако наличие артефактов и низкая чувствительность на ранних стадиях заболевания дают повод для дальнейших исследований в данном направлении. В связи с этим целью нашего исследования было повышение информативности лучевых методов диагностики в определении подагрического артрита путем использования двухэнергетической компьютерной томографии в различные сроки течения заболевания.

Для реализации цели настоящей работы нами было обследовано 140 пациентов (мужчины: n=89, 63,6%; женщины: n=51, 36,4%) с подозрением на

подагрический артрит, медиана возраста составила 65 (54–71) лет. В число исследованных вошли пациенты основной группы (n=91, 65,0%) и группы сравнения (n=49, 35,0%). В процессе работы был применен стандартный комплекс клинико-лабораторных исследований. Особое внимание уделялось следующим критериям: пол, возраст, продолжительность заболевания и уровень концентрации мочевой кислоты в крови. В качестве методов визуализации выступали рентгенография, стандартная КТ, МРТ и ДЭКТ.

Диагноз пациентов верифицировался на основании критериев, разработанных Американской коллегией ревматологов и Европейской антиревматической лигой и одобренных для медицинской практики Всемирной организацией здравоохранения:

- наличие кристаллов МУН в суставной жидкости;
- наличие тофусов, содержащих кристаллы МУН;
- наличие не менее 8 баллов по совокупности клинических, лабораторных и инструментальных признаков подагры;
- быстрое нарастание воспаления (максимальная выраженность симптомов в первые 24 часа);
- моноартикулярный характер поражения;
- гиперемия кожи над пораженным суставом;
- отек и болезненность первого плюснефалангового сустава;
- одностороннее поражение первого плюснефалангового сустава;
- асимметричное воспаление суставов стопы;
- клинические признаки тофусов;
- гиперурикемия;
- асимметричный суставной отек при визуальном или пальпаторном исследовании;
- рентгенологические признаки (субкортикальные кисты без эрозий);
- отрицательный результат микробиологического посева синовиальной жидкости.

В данном исследовании проведено комплексное сравнение диагностической эффективности лучевых методов при подагрическом артрите. Были проанализированы информативность рентгенографии, стандартной КТ, МРТ, а также типичных для ПА лучевых симптомов. Отдельно сравнивалась диагностическая значимость двухэнергетической КТ с упомянутыми модальностями. Дополнительно изучалось влияние продолжительности заболевания на диагностические возможности ДЭКТ, а также выявлялись и характеризовались взаимосвязи между клинико-лабораторными данными и томографическими находками, такими как наличие и объем депозитов кристаллов МУН.

В соответствии с поставленными задачами на первом этапе была исследована информативность рентгенографии у 140 больных с подозрением на подагрический артрит (проанализировано 252 сустава).

Типичные рентгенологические признаки подагрического артрита – эрозии с нависающими склеротическими краями (Se – 34,8%, Sp – 91,8%) и мягкотканый компонент тофуса (Se – 12,9%, Sp – 98,9%) – 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 этом показатели специфичности оставались столь же высокими – 95% и 96% соответственно [100, 101]. В то же время чувствительность выявления тофусов в виде мягкотканых затемнений в исследовании Rettenbacher et al. (2008) была почти вдвое выше и составила 26% [111]. Низкие показатели специфичности (19,5%) при умеренной чувствительности (58,7%) для эрозий без нависающих краев подтверждают необходимость дифференциации с другими эрозивными артропатиями, что отмечено в работе Kumar et al. (2024) [76]. 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 [43].

Важно отметить, что в нашем исследовании чувствительность рентгенографии показала наименьшее снижение в группе пациентов с продолжительностью заболевания менее 5 лет (35,8%), что несколько выше, чем в работе Reijniere et al. (2022), где данный параметр не превышал 31% [110]. Разница в показателях, вероятно, обусловлена различиями в характеристиках исследуемых групп. В вышеупомянутом исследовании пациенты имели продолжительность заболевания менее 4 лет.

Рутинная КТ, очевидно, более чувствительна к костным изменениям, чем рентгенография. Также метод способствует определению мягкотканного компонента тофуса (160–170 единиц Хаунсфилда) благодаря способности измерять плотность структур [15, 18, 20]. Поэтому ожидалось, что стандартная КТ будет более точной в диагностике подагрического артрита.

В настоящем исследовании было проанализировано 219 локализаций 112 пациентов с подозрением на подагрический артрит. 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 [72]. 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 ложноположительным результатам у пациентов с псориатическим и ревматоидным артритом.

Данные факты согласуются с литературными источниками о сложности дифференциации не только мягкотканых компонентов тофусов, но и неспецифических эрозий [57, 79].

В целом стандартная КТ обладает низкой информативностью в выявлении подагрического артрита, продемонстрировав чувствительность 60,3% и специфичность 92,3%, что также отражено в исследованиях последнего десятилетия [48, 138].

Нельзя не отметить разницу показателей чувствительности в настоящем исследовании (60,3%) и обзоре Davies et al. (2019) (26%) [49]. Вероятно, такое расхождение обусловлено более частым выявлением в нашей работе типичных эрозий, ассоциированных с тофусами, о связи которых также заявляет вышеупомянутый автор. Принципиальное отличие заключается в разной продолжительности заболевания у исследуемых пациентов. В упомянутой ранее работе стаж болезни пациентов не превышал 2,5 лет, тогда как в нашем исследовании, даже в группе с продолжительностью заболевания до 5 лет, чувствительность метода составила 45,5%.

Принимая во внимание высокую информативность в диагностике ревматологических заболеваний и учитывая высокую тканевую дифференцировку при МРТ, ожидалось лучшие показатели диагностической эффективности, чем у предыдущих методов.

Согласно литературным источникам имеются противоречивые данные о диагностической эффективности метода. С одной стороны, существуют утверждения о высокой специфичности (98%) метода в выявлении тофусов, однако имеются исследования, где описывается неопределенная МРТ-картина, ясность в которую вносят другие методы диагностики, в том числе биопсия и ДЭКТ [62, 77, 129].

В настоящем исследовании было проанализировано 94 локализации 37 пациентов с подозрением на подагрический артрит, в ходе которого выявлено очевидное преимущество чувствительности (55,9%) МРТ в выявлении тофусов по сравнению с вышеупомянутыми 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 McQueen et al. (2014) [92]. Наше исследование показывает, что чувствительность метода (56%) превосходит чувствительность рентгенографии, однако уступает ей и рутинной КТ в аспекте специфичности (75,0%) и точности (62,2%) за счет большого количества ложноположительных результатов, обусловленных мелкими эрозиями с округлыми краями, имитирующими нависающие, наличием гранулем, симулирующих тофусы у пациентов без ПА, с чем также столкнулись Yang et al. (2022) и упоминали Keelarattu et al. (2024) в своих исследованиях [57, 138].

В соответствии с поставленными задачами вторым этапом в рамках настоящего исследования стало проведение оценки диагностической эффективности ДЭКТ в выявлении подагрического артрита путем индикации кристаллов МУН в различные сроки течения заболевания. Согласно современным библиографическим данным среди рассмотренных методов лучевой диагностики ДЭКТ демонстрирует значительные преимущества и является предпочтительным методом идентификации и дифференциации подагрических тофусов [24]. Физические основы ДЭКТ позволяют визуализировать депозиты кристаллов МУН не только в крупных, но и в мелких суставах, дифференцировать кристаллы МУН от других кальцификатов [11, 111, 142]. Кроме того, ДЭКТ автоматически подсчитывает их объем.

ДЭКТ-исследование выполнено 112 пациентам с подозрением на подагрический артрит на гибридном компьютерном томографе Siemens Symbia Intevo Bold с использованием специализированного программного обеспечения Siemens Syngo.via. 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 [39, 113, 129]. На

показатель специфичности повлияли ложноположительные результаты, обусловленные наличием артефактов, которые симулировали кристаллы МУН. Данные 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, однако этого, вероятно, можно избежать при достаточной осторожности и опыте [91, 106]. На показатель чувствительности повлияли ложноотрицательные результаты, обусловленные, вероятно, малым объёмом кристаллов моноурата натрия, которые были недостаточно сформированы для визуализации.

Однако, несмотря на высокий показатель общей чувствительности, наибольшее снижение данного параметра наблюдалось при анализе зависимости чувствительности от продолжительности заболевания (в группе пациентов с длительностью болезни до 5 лет (68,2%)), что сопоставимо данным исследования Zhang et al. (2020) (66,6%) и Kravchenko et al. (2022) (63,0%) [63, 140]. Данные, полученные в исследовании Gamala et al. (2019), несколько отличались: чувствительность метода составила 55%, а в исследовании Laurent et al. (2025) – 38% [47, 67]. Это расхождение, вероятно, объясняется тем, что в указанных работах продолжительность заболевания пациентов не превышала 6 недель и 1 года соответственно. Наблюдаемое снижение чувствительности метода на ранних стадиях заболевания объясняется максимальной частотой ложноотрицательных результатов, зарегистрированных в данной когорте пациентов.

Отмечая снижение чувствительности ДЭКТ до 68,2% у пациентов со стажем заболевания менее 5 лет, данный показатель остаётся существенно выше, чем при рентгенографии (35,7%) и стандартной КТ (45,5%), подтверждая свое превосходство в диагностике подагрического артрита, в том числе и на ранних стадиях. Наименьшая частота выявления ЛО-результатов при исследовании ДЭКТ, по-видимому, связана с принципиальными различиями диагностических подходов. Основное преимущество ДЭКТ заключается в визуализации кристаллов МУН, в свою очередь рентгенография и рутинная КТ визуализируют

патологические изменения анатомических структур, вызванные каскадом реакций вследствие накопления в них депозитов моноурата натрия.

Как уже отмечалось, клинико-лабораторные показатели имеют большое значение в диагностике подагрического артрита, но не всегда служат окончательным основанием для подтверждения диагноза.

Следующий этап работы состоял в изучении взаимосвязи между клинико-лабораторными параметрами (продолжительность заболевания, концентрация мочевой кислоты в крови, возраст, гендер) и обнаружением и объемом кристаллов МУН с помощью ДЭКТ-диагностики. Результаты статистической обработки согласуются с общеизвестными эпидемиологическими исследованиями, свидетельствующими о значительной гендерной диспропорции в распространенности подагры с преобладанием заболеваемости среди мужского населения [146]. Однако анализ логистической регрессии показал, что пол, наряду с возрастом, не продемонстрировал статистически 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.

Основной целью статистического анализа, в рамках которого был применен регрессионный анализ, являлось определение клинических показателей, ассоциированных с выявлением депозитов кристаллов моноурата натрия при помощи двухэнергетической компьютерной томографии.

В результате однофакторного регрессионного анализа было установлено, что увеличение продолжительности болезни и высокая концентрация мочевой кислоты в сыворотке крови сохраняли статистическую значимость, что подтверждает их ценность в качестве независимых прогностических факторов обнаружения уратных отложений при данном методе визуализации.

Многофакторный анализ логистической регрессии подтвердил независимую прогностическую ценность вышеупомянутых параметров, определив рост

вероятности обнаружения кристаллов МУН на 0,8% при увеличении концентрации мочевой кислоты на 1 мкмоль/л (ОШ = 1,008, 95 % ДИ 1,002–1,015,  $p = 0,009$ ) и на 19% при увеличении продолжительности заболевания на 1 год (ОШ = 1,19, 95 % ДИ 1,03–1,43,  $p = 0,033$ ).

Проведенный ROC-анализ показал умеренную прогностическую ценность логистической регрессионной модели (площадь под кривой AUC составила 0,79). При установленных пороговых значениях 0,58 (чувствительность 91,5%, специфичность 35,7%) и 0,89 (чувствительность 52,5%, специфичность 92,9%) диагностическая модель позволяет определять низкую, среднюю и высокую вероятность обнаружения кристаллов моноурата натрия при ДЭКТ-исследовании.

Полученные результаты обосновывают совершенствование клинических подходов диагностики 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.

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 этим показателем и объемом кристаллов МУН по данным ДЭКТ [23]. Проведенный в рамках диссертационного исследования корреляционный анализ связей между уровнем мочевой кислоты в крови и количественным объемом кристаллов моноурата натрия 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 длительностью 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.

Представленные данные подтверждают актуальность совершенствования диагностического алгоритма для пациентов с подозрением на подагру. Существующие клинические рекомендации, включающие оценку факторов риска, анализ синовиальной жидкости или содержимого тофусов, определение уровня мочевой кислоты в крови, а также критерии постановки диагноза, обладают рядом ограничений. К ним относятся инвазивность и не всегда доступная возможность пункции сустава, переменная информативность этого метода на разных стадиях болезни, а также возможность как нормальных показателей мочевой кислоты при подагре, так и гиперурикемии у здоровых лиц. Низкая диагностическая эффективность стандартных лучевых методов также обуславливает необходимость расширения диагностического алгоритма.

Оптимизация алгоритма предполагает использование двухэнергетической компьютерной томографии в случаях, когда проведение поляризационной микроскопии невозможно или ее результат отрицателен, так как данный метод обладает высокой диагностической информативностью в том числе у пациентов с продолжительностью заболевания менее 5 лет. Применение ДЭКТ в сочетании с разработанной в настоящем исследовании прогностической моделью позволит проводить стратификацию пациентов для направления на данное исследование.

Такой подход не только повысит диагностическую эффективность ДЭКТ, но и позволит избежать излишней лучевой нагрузки, ускорит выбор тактики лечения за счет сокращения диагностического процесса и снизит нагрузку на систему здравоохранения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клиническая практика показывает, что у значительного числа пациентов тофусные отложения могут формироваться даже при отсутствии выраженных клинических признаков подагрического артрита. С другой стороны, это обстоятельство делает особенно важным применение современных методов лучевой диагностики для оценки состояния костно-суставных структур и мягких тканей. Следует учитывать, что для формирования клинически определяемых тофусов обычно требуется несколько лет после первого эпизода подагрической атаки, что подчеркивает необходимость ранней и точной диагностики. Полученные данные подтверждаются ограниченной диагностической эффективностью рентгенографии, рутинной КТ и МРТ, а также выявляемых с их помощью лучевых симптомов подагрического артрита.

Настоящая диссертационная работа демонстрирует существенные преимущества двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике этого заболевания, в отличие от вышеперечисленных.

Результаты исследования выявили важную закономерность: у пациентов с длительностью заболевания менее 5 лет отмечается повышенная частота ложноотрицательных результатов ДЭКТ. Этот факт требует особого внимания клиницистов при интерпретации данных исследования и подчеркивает необходимость комплексного подхода к диагностике, включающего тщательный анализ клинической картины и лабораторных показателей. Одновременно следует учитывать возможность ложноположительных результатов, обусловленных артефактами, что требует от специалиста достаточного опыта работы с данной методикой.

Особенностью ДЭКТ является ее диагностическая ценность 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 прогностическая модель, основанная на 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.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о высокой диагностической ценности ДЭКТ в ведении пациентов с подозрением на подагрический артрит. Метод 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
ГУ	– гиперурикемия
ДИ	– доверительный интервал
ДЭКТ	– двухэнергетическая компьютерная томография
ИЛ	– интерлейкин
ИО	– истинно отрицательный
ИП	– истинно положительный
КПФ	– кальций-пирофосфатный артрит
КТ	– компьютерная томография
ЛО	– ложноотрицательный
ЛП	– ложноположительный
МК	– мочевая кислота
МРТ	– магнитно-резонансная томография
МУН	– моноурат натрия
ОШ	– отношение шансов
ПА	– подагрический артрит
ПсА	– псориатический артрит
РА	– ревматоидный артрит
РГ	– рентгенография
РФП	– радиофармпрепарат
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
ФНО	– фактор некроза опухолей
Асс	– 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

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Беляева, И. Б. Международные и российские рекомендации по уратснижающей терапии у коморбидных пациентов с гиперурикемией или подагрой / И. Б. Беляева, В. И. Мазуров, М. С. Петрова [и др.] // Эффективная фармакотерапия. – 2021. – Т. 17, № 7. – С. 32–38.

2. Возможности определения интрамиокардиального фиброза на основе расчета объема внеклеточного пространства с помощью двухэнергетической компьютерной томографии / Е. А. Мершина, Д. А. Филатова, М. В. Лисицкая [и др.] // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2023. – Т. 19, № 6. – С. 565–571. – DOI 10.20996/1819-6446-2023-2982. – EDN KIRZLA.

3. Выявления эрозивных изменений суставов кистей и стоп при ревматоидном артрите: сравнение ультразвукового и рентгенографического методов / О. Г. Алексеева, А. В. Смирнов, С. И. Глухова [и др.] // Клиническая практика. – 2025. – Т. 16, № 1. – С. 47–56. – DOI 10.17816/clinpract655665. – EDN LEQAIJ.

4. Двухэнергетическая компьютерная томография в диагностике мочекаменной болезни: учебное пособие / С. К. Терновой, Н. С. Серова, Ю. Г. Аляев [и др.]. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 48 с. – ISBN 978-5-9704-6308-6. – EDN JМОРВК.

5. Двухэнергетическая компьютерная томография рака головы и шеи / В. С. Петровичев, М. В. Неклюдова, В. Е. Сеницын, И. Г. Никитин // Digital Diagnostics. – 2021. – Т. 2, № 3. – С. 343–355. – DOI 10.17816/DD62572. – EDN YRMDIX.

6. Елисеев, М. С. Актуальные вопросы практического применения аллопуринола у пациентов с подагрой и гиперурикемией / М. С. Елисеев // Современная ревматология. – 2024. – Т. 18, № 5. – С. 116–120. – URL: <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2024-5-116-120>.

7. Елисеев, М. С. Классификационные критерии подагры (рекомендации ACR/EULAR) / М. С. Елисеев // Научно-практическая ревматология. – 2015. – Т. 53, № 6. – С. 581–585. – URL: <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2015-581-585>.
8. Елисеев, М. С. Что мы знаем о подагре сегодня / М. С. Елисеев // Терапия. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 63–73. DOI: 10.18565/therapy.2024.1.63-73.
9. Клиническая ревматология: руководство для врачей / под ред. В. И. Мазурова. – Москва : Е-noto, 2021. – 696 с.
10. Клинические рекомендации. Подагра (утв. Минздравом России) ; МКБ10:M10.0/M10.1/M10.2/M10.3/M10.4/M10.9 ; утв. 2018. ID: KP251. – URL: Профессиональные ассоциации: Ассоциация ревматологов России.
11. Многоликая мочевая кислота: от подагры к сердечно-сосудистым заболеваниям и метаболическим нарушениям / М. В. Богданова, О. А. Георгинова, А. О. Канина [и др.] // Клиническая фармакология и терапия. – 2024. – Т. 33, № 4. – С. 21–30. – DOI 10.32756/0869-5490-2024-4-21-30. – EDN HBEСMF.
12. Насонов, Е. Л. Ревматология: национальное руководство / Е. Л. Насонов, В. А. Насонова. – М. : Гэотар-Медиа, 2008. – 720 с.
13. Насонова, В. А. Ранняя диагностика и лечение подагры научно обоснованное требование улучшения трудового и жизненного прогноза больных / В. А. Насонова, В. Г. Барскова // Научно-практическая ревматология. – 2004. – Т. 42. – С. 5–7.
14. Онойко, М. В. Роль двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике подагры и других кристаллических артропатий: обзор литературы / М. В. Онойко, Е. А. Мершина, О. А. Георгинова [и др.] // Digital Diagnostics. – 2023. – Т. 4, № 2. – С. 197–213. – DOI: 10.17816/DD322758.
15. Роль магнитно-резонансной томографии и двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике рабдомиомы сердца у взрослого пациента: клинический случай / Е. А. Мершина, Д. А. Филатова, В. Е. Сеницын [и др.] // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. – 2022. – Т. 37, № 1. – С. 129–134. – DOI 10.29001/2073-8552-2022-37-1-129-134. – EDN VUUMJT.

16. Сакроилиит при подагре / Е. М. Агафонова, М. В. Аристова, М. С. Елисеев [и др.] // Научно-практическая ревматология. – 2023. – Т. 61, № 6. – С. 763–768. – DOI 10.47360/1995-4484-2023-763-768. – EDN CLAJMJ.

17. Сонография как метод диагностики подагры на преклинической стадии (предварительные данные пилотного исследования) / Е. В. Черемушкина, М. С. Елисеев, М. В. Северинова, О. В. Желябина // Медицинский алфавит. – 2023. – № 9. – С. 30–34. – DOI 10.33667/2078-5631-2023-9-30-34. – EDN SMDPLS.

18. Чабан, А. С. Двухэнергетическая компьютерная томография как перспективный метод диагностики очаговых поражений в печени / А. С. Чабан, В. Е. Сеницын // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 157–172. – EDN BUODIE.

19. Черёмушкина, Е. В. Гиперурикемия и подагра: влияние на костный метаболизм и суставной хрящ (обзор литературы) / Е. В. Черёмушкина, М. С. Елисеев // Ожирение и метаболизм. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 348–357. – URL: <https://doi.org/10.14341/omet12894>.

20. Abdellatif, W. Unravelling the mysteries of gout by multimodality imaging / W. Abdellatif, J. Ding, D. Khorshed [et al.] // Seminars in Arthritis and Rheumatism. – 2020. – Vol. 50, N 3S. – P. S17–S23. – ISSN 1532-866X.

21. Abhishek, A. Gout on the acute medical take / A. Abhishek, E. Cipolletta // Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 25, N 4. – P. 100331. – ISSN 14702118.

22. Gicht im klinischen Spektrum. – CH : AeztEVERLAG medINFO AG, 2024. – URL: <https://doi.org/10.23785/TU.2024.05.002> (accessed: 25.09.2025).

23. Afzal, M. Gout / M. Afzal, M. Rednam, R. Gujarathi, J. Widrich // StatPearls. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025.

24. Alqatari, S. An unexpected cause of sacroiliitis in a patient with gout and chronic psoriasis with inflammatory arthritis: a case report / S. Alqatari, R. Visevic, N. Marshall [et al.] // BMC musculoskeletal disorders. – 2018. – Vol. 19, N 1. – P. 126. – ISSN 1471-2474.

25. Araujo, E. G. Imaging of gout: New tools and biomarkers? / E. G. Araujo, B. Manger, F. Perez-Ruiz, R. G. Thiele // *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*. – 2016. – Vol. 30, N 4. – P. 638–652. – ISSN 1532-1770.

26. Asghari, K. M. Gout: global epidemiology, risk factors, comorbidities and complications: a narrative review / K. M. Asghari, M. Zahmatyar, F. Seyedi [et al.] // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2024. – Vol. 25, N 1. – P. 1047. – ISSN 1471-2474.

27. Ather, S. Imaging Response to Treatment in Rheumatology / S. Ather, A. Naeem, J. Teh // *Radiologic Clinics of North America*. – 2024. – Vol. 62, N 5. – P. 877–888. – ISSN 00338389.

28. Badshah, M. Gout: A Rapid Review of Presentation, Diagnosis and Management / M. Badshah, I. Nadeem, I. Ahmed [et al.] // *South Dakota Medicine: The Journal of the South Dakota State Medical Association*. – 2024. – Vol. 77, N 2. – P. 81–86. – ISSN 0038-3317.

29. Baffour, F. I. Evolving Role of Dual-Energy CT in the Clinical Workup of Gout: A Retrospective Study / F. I. Baffour, A. Ferrero, G. A. Aird [et al.] // *American Journal of Roentgenology*. – 2022. – Vol. 218, N 6. – P. 1041–1050. – ISSN 0361-803X, 1546-3141.

30. Bartsch, V. Gicht: Von der Diagnose zur leitliniengerechten Therapie / V. Bartsch, K. Standfest, A. Hueber // *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*. – 2025. – Vol. 58, N 2. – P. 137–146. – ISSN 0948-6704, 1435-1269.

31. Bayat, S. Update on imaging in gout: contrasting and comparing the role of dual-energy computed tomography to traditional diagnostic and monitoring techniques / S. Bayat, H. S. B. Baraf, J. Rech // *Clinical and Experimental Rheumatology*. – 2018. – Vol. 36, Suppl. 114, N 5. – P. 53–60. – ISSN 0392-856X.

32. Birk, A. Tophaceous gout as a differential diagnosis of preauricular tumor / A. Birk, K. Wörtler, C. Mogler, K. Storck // *HNO*. – 2023. – Vol. 71, N 2. – P. 114–117. – ISSN 1433-0458.

33. Boedijono, D. R. Gout arthritis of the ankle successfully treated with arthroscopic debridement: A case report / D. R. Boedijono, A. Nugroho, R.

Handidwiono, J. Prasetyo // *International Journal of Surgery Case Reports*. – 2024. – Vol. 122. – P. 110066. – ISSN 22102612.

34. Bongartz, T. Dual-energy CT for the diagnosis of gout: an accuracy and diagnostic yield study / T. Bongartz, K. N. Glazebrook, S. J. Kavros [et al.] // *Annals of the Rheumatic Diseases*. – 2015. – Vol. 74, N 6. – P. 1072–1077. – ISSN 1468-2060.

35. Brahmabhatt, P. Spinal gout diagnosed by dual-energy CT: A case report / P. Brahmabhatt, P. Vibhute, V. Gupta [et al.] // *Radiology Case Reports*. – 2022. – Vol. 17, N 11. – P. 4135–4138. – ISSN 1930-0433.

36. Bursill, D. Gout, Hyperuricemia, and Crystal-Associated Disease Network Consensus Statement Regarding Labels and Definitions for Disease Elements in Gout / D. Bursill, W. J. Taylor, R. Terkeltaub [et al.] // *Arthritis Care & Research*. – 2019. – Vol. 71, N 3. – P. 427–434. – ISSN 2151-464X, 2151-4658.

37. Cardoso, F. N. Spinal and sacroiliac gouty arthritis: report of a case and review of the literature / F. N. Cardoso, P. Omoumi, G. Wieers [et al.] // *Acta Radiologica Short Reports*. – 2014. – Vol. 3, N 8. – P. 2047981614549269. – ISSN 2047-9816.

38. Chandratre, P. Gout, Hyperuricemia and Psoriatic Arthritis: An Evolving Conundrum / P. Chandratre, R. Sabido-Sauri, S. S. Zhao, A. Abhishek // *Current Rheumatology Reports*. – 2025. – Vol. 27, N 1. – P. 22. – ISSN 1523-3774, 1534-6307.

39. Chen, X. Percutaneous transforaminal endoscopic decompression for the treatment of intraspinal tophaceous gout: A case report / X. Chen, G. Xu, Q. Hu [et al.] // *Medicine*. – 2020. – Vol. 99, N 21. – P. e20125. – ISSN 1536-5964.

40. Chen-Xu, M. Contemporary Prevalence of Gout and Hyperuricemia in the United States and Decadal Trends: The National Health and Nutrition Examination Survey, 2007–2016 / M. Chen-Xu, C. Yokose, S. K. Rai [et al.] // *Arthritis & Rheumatology*. – 2019. – Vol. 71, N 6. – P. 991–999. – ISSN 2326-5191, 2326-5205.

41. Chiu, M. K. Intraosseous gout mimicking giant cell tumor of the patella / M. K. Chiu, N. A. Lewis // *Skeletal Radiology*. – 2020. – Vol. 49, N 8. – P. 1325–1328. – ISSN 1432-2161.

42. Choi, H. K. Dual energy CT in gout: a prospective validation study / H. K. Choi, L. C. Burns, K. Shojania [et al.] // *Annals of the Rheumatic Diseases*. – 2012. – Vol. 71, N 9. – P. 1466–1471. – ISSN 1468-2060.

43. Chowalloor, P. V. Imaging in gout: A review of the recent developments / P. V. Chowalloor, T. K. Siew, H. I. Keen // *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease*. – 2014. – Vol. 6, N 4. – P. 131–143. – ISSN 1759-720X.

44. Christiansen, S. N. Ultrasound for the diagnosis of gout-the value of gout lesions as defined by the Outcome Measures in Rheumatology ultrasound group / S. N. Christiansen, M. Østergaard, O. Slot [et al.] // *Rheumatology (Oxford, England)*. – 2021. – Vol. 60, N 1. – P. 239–249. – ISSN 1462-0332.

45. Cowley, S. Diagnosis and Treatment of Calcium Pyrophosphate Deposition (CPPD) Disease: A Review / S. Cowley, G. McCarthy // *Open Access Rheumatology: Research and Reviews*. – 2023. – Vol. 15. – P. 33–41. – ISSN 1179-156X.

46. Curd, E. D. Gouty tophus presenting as an anterior cruciate ligament mass in the knee: Case report and brief review of relevant literature / E. D. Curd, K. Ravichandiran, J. Abouali // *International Journal of Surgery Case Reports*. – 2021. – Vol. 82. – P. 105920. – ISSN 2210-2612.

47. Dalbeth, N. Relationship between serum urate concentration and clinically evident incident gout: an individual participant data analysis / N. Dalbeth, A. Phipps-Green, C. Frampton [et al.] // *Annals of the Rheumatic Diseases*. – 2018. – Vol. 77, N 7. – P. 1048–1052. – ISSN 00034967.

48. Danve, A. Role of diet in hyperuricemia and gout / A. Danve, S. T. Sehra, T. Neogi // *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*. – 2021. – Vol. 35, N 4. – P. 101723. – ISSN 15216942.

49. Davies, J. Recent developments in advanced imaging in gout / J. Davies, P. Riede, K. Van Langevelde, J. Teh // *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease*. – 2019. – Vol. 11. – P. 1759720X19844429. – ISSN 1759-720X, 1759-7218.

50. Dehlin, M. Global epidemiology of gout: prevalence, incidence, treatment patterns and risk factors / M. Dehlin, L. Jacobsson, E. Roddy // *Nature Reviews Rheumatology*. – 2020. – Vol. 16, N 7. – P. 380–390. – ISSN 1759-4790, 1759-4804.

51. Department of Radiology, National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Poland. Imaging methods in monitoring gout – a pictorial essay / Department of Radiology, National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Poland : M. Korzeń, A. Nowakowska-Płaza [et al.]. // Journal Of Ultrasonography. – 2024. – Vol. 24, N 97. – URL: <https://jutrason.pl/index.php/issues/volume-24-no-97/imaging-methods-in-monitoring-gout-a-pictorial-essay> (accessed: 03.09.2025).

52. Dong, Y. Federated learning-based virtual dual-energy CT generation from single-energy CT for gout detection / Y. Dong, M. Liu, J. Feng [et al.] // Digital Health. – 2025. – Vol. 11. – P. 20552076251375570. – ISSN 2055-2076, 2055-2076.

53. Duarte-Salazar, C. Tophaceous Gout in the Lumbar Spine Causing Radiculopathy / C. Duarte-Salazar, N. Marín-Arriaga, L. Ventura-Ríos [et al.] // Reumatologia Clinica. – 2020. – Vol. 16, N 5, Pt. 2. – P. 410–412. – ISSN 2173-5743.

54. Emsen, B. FDG PET/CT of Cervical Gout With Spinal Cord Compression / B. Emsen, A. Fitoussi, J. Chalaye [et al.] // Clinical Nuclear Medicine. – 2020. – Vol. 45, N 1. – P. e29–e31. – ISSN 1536-0229.

55. Fenando, A. Gout / A. Fenando, M. Rednam, R. Gujarathi, J. Widrich // StatPearls. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025.

56. FitzGerald, J. D. Gout / J. D. FitzGerald // Annals of Internal Medicine. – 2025. – Vol. 178, N 3. – P. ITC33–ITC48. – ISSN 0003-4819, 1539-3704.

57. Foti, G. Dual-Energy CT in Oncologic Imaging / G. Foti, G. Ascenti, A. Agostini [et al.] // Tomography. – 2024. – Vol. 10, N 3. – P. 299–319. – ISSN 2379-139X.

58. Fukuda, T. The comprehensive role of dual-energy CT in gout as an advanced diagnostic innovation / T. Fukuda, M. Subramanian, K. Noda [et al.] // Skeletal Radiology. – 2025. – Vol. 54, N 11. – P. 2253–2263. – ISSN 0364-2348, 1432-2161.

59. Gamala, M. The diagnostic performance of dual energy CT for diagnosing gout: a systematic literature review and meta-analysis / M. Gamala, J. W. G. Jacobs, J. M. Van Laar // Rheumatology. – 2019. – Vol. 58, N 12. – P. 2117–2121. – ISSN 1462-0324, 1462-0332.

60. Gessl, I. Systematic literature review to inform the EULAR recommendations for the use of imaging in crystal-induced arthropathies in clinical practice / I. Gessl, G. Sakellariou, B. Wildner [et al.] // *Annals of the Rheumatic Diseases*. – 2024. – Vol. 83, N 9. – P. 1208–1224. – ISSN 00034967.

61. Girish, G. Advanced Imaging in Gout / G. Girish, K.N. Glazebrook, J. A. Jacobson // *American Journal of Roentgenology*. – 2013. – Vol. 201, N 3. – P. 515–525. – ISSN 0361-803X, 1546-3141.

62. Goel, N. Gouty tophi presenting as multinodular lateral inguinal swelling: A case report / N. Goel, V. Khanna, D. K. Jain, V. Gupta // *Diagnostic Cytopathology*. – 2018. – Vol. 46, N 9. – P. 801–803. – ISSN 1097-0339.

63. Held, J. Review: The Role of Dual-Energy Computed Tomography in Detecting Monosodium Urate Deposits in Vascular Tissues / J. Held, D. Haschka, P. G. Lacaíta [et al.] // *Current Rheumatology Reports*. – 2024. – Vol. 26, N 8. – P. 302–310. – ISSN 1523-3774, 1534-6307.

64. Hng, J. Gout of the temporomandibular joint and review of the literature / J. Hng, S. Manchella, E. Lekgabe // *BJR case reports*. – 2023. – Vol. 9, N 1. – P. 20220046. – ISSN 2055-7159.

65. Hsu, Y. Tophaceous gout of the knee: successful treatment with transarterial microembolization / Y. Hsu, S.-C. Kung, T.-J. Hsieh, Y.-H. Tseng. // *Skeletal Radiology*. – 2025. – URL: <https://link.springer.com/10.1007/s00256-025-05021-1> (accessed: 28.09.2025).

66. Hussain, K. Role of DECT in a patient with atypical gout flare / K. Hussain, S. Shahid, W. Chang // *BMJ case reports*. – 2019. – Vol. 12, N 10. – P. e231850. – ISSN 1757-790X.

67. Jeon, J. Y. The effect of tube voltage combination on image artefact and radiation dose in dual-source dual-energy CT: comparison between conventional 80/140 kV and 80/150 kV plus tin filter for gout protocol / J. Y. Jeon, S.-W. Lee, Y. M. Jeong, H. J. Baek // *European Radiology*. – 2019. – Vol. 29, N 3. – P. 1248–1257. – ISSN 0938-7994, 1432-1084.

68. Jiao, B. Lumbosacral Paravertebral Tophaceous Gout on an Adolescent Mimicking Malignant Neoplasm in 18 F-FDG PET/CT / B. Jiao, S. Liu, Y. Zhuang [et al.] // *Clinical Nuclear Medicine*. – 2024. – Vol. 49, N 1. – P. 91–92. – ISSN 1536-0229.

69. Keelapattu, S. P. Diagnostic Complexities and Management of Gouty Arthritis With Suspected Seronegative Rheumatoid Arthritis and Malignancy in an Elderly Male / S. P. Keelapattu, A. Bangaragiri, C. S. Eada. // *Cureus*. – 2024. – URL: <https://www.cureus.com/articles/269172-diagnostic-complexities-and-management-of-gouty-arthritis-with-suspected-seronegative-rheumatoid-arthritis-and-malignancy-in-an-elderly-male> (accessed: 09.09.2025).

70. Kester, C. Gouty involvement of the patella and extensor mechanism of the knee mimicking aggressive neoplasm. A case series / C. Kester, M. T. Wallace, J. Jelinek, A. Aboulafia // *Skeletal Radiology*. – 2018. – Vol. 47, N 6. – P. 865–869. – ISSN 1432-2161.

71. Khanna, I. What Has Dual Energy CT Taught Us About Gout? / I. Khanna, R. Pietro, Y. Ali // *Current Rheumatology Reports*. – 2021. – Vol. 23, N 9. – P. 71. – ISSN 1534-6307.

72. Kiefer, T. Single source dual-energy computed tomography in the diagnosis of gout: Diagnostic reliability in comparison to digital radiography and conventional computed tomography of the feet / T. Kiefer, T. Diekhoff, S. Hermann [et al.] // *European Journal of Radiology*. – 2016. – Vol. 85, N 10. – P. 1829–1834. – ISSN 0720048X.

73. Klauser, A. S. Gout of hand and wrist: the value of US as compared with DECT / A. S. Klauser, E. J. Halpern, S. Strobl [et al.] // *European Radiology*. – 2018. – Vol. 28, N 10. – P. 4174–4181. – ISSN 1432-1084.

74. Koro, L. Gout in the thoracic spine causing acute paraplegia: illustrative case / L. Koro, R. Khanna, D. Richards, D. G. Karahalios // *Journal of Neurosurgery. Case Lessons*. – 2021. – Vol. 2, N 9. – P. CASE21308. – ISSN 2694-1902.

75. Kravchenko, D. The role of dual energy computed tomography in the differentiation of acute gout flares and acute calcium pyrophosphate crystal arthritis /

D. Kravchenko, P. Karakostas, D. Kuetting [et al.] // *Clinical Rheumatology*. – 2022. – Vol. 41, N 1. – P. 223–233. – ISSN 1434-9949.

76. Kumar, N. Gout Arthritis of Temporomandibular Joint - A Rare Case Report and Review of Literature / N. Kumar, K. Jyotsana, M. Srinivasa Raju, B. T. Bhagawati // *Indian Journal of Dental Research*. – 2024. – Vol. 35, N 1. – P. 111–113. – ISSN 0970-9290, 1998-3603.

77. Kwok, T. S. H. Diagnostic accuracy and trajectories of referrals for gout to rheumatology / T. S. H. Kwok, S. Bajaj, T. Papneja [et al.] // *Joint Bone Spine*. – 2025. – Vol. 92, N 6. – P. 105919. – ISSN 1297319X.

78. Lacaíta, P. G. Association between coronary monosodium urate deposits at DECT and high-risk coronary plaque phenotypes and other features in gout patients / P. G. Lacaíta, A. S. Klauser, J. Held [et al.] // *European Radiology Experimental*. – 2025. – Vol. 9, N 1. – P. 73. – ISSN 2509-9280.

79. Laurent, V. Advanced imaging techniques in crystal arthritis / V. Laurent, G. Filippou, S. Sirotti, T. Pascart // *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease*. – 2025. – Vol. 17. – P. 1759720X251316097. – ISSN 1759-720X.

80. Laurent, V. Are gout patients with negative dual-energy computed tomography for monosodium urate crystal deposition easy to treat? / V. Laurent, C. Jauffret, V. Ducoulombier [et al.] // *Rheumatology*. – 2025. – Vol. 64, N 2. – P. 581–587. – ISSN 1462-0324, 1462-0332.

81. Lee, S. K. Combining non-contrast and dual-energy CT improves diagnosis of early gout / S. K. Lee, J.-Y. Jung, W.-H. Jee [et al.] // *European Radiology*. – 2019. – Vol. 29, N 3. – P. 1267–1275. – ISSN 1432-1084.

82. Lee, W. W. Clinical Applications of Technetium-99m Quantitative Single-Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography / W. W. Lee ; K-SPECT Group // *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. – 2019. – Vol. 53, N 3. – P. 172–181. – ISSN 1869-3474.

83. Lee, Y. H. Diagnostic accuracy of ultrasound in patients with gout: A meta-analysis / Y. H. Lee, G. G. Song // *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. – 2018. – Vol. 47, N 5. – P. 703–709. – ISSN 1532-866X.

84. Li, S. The Role of Advanced Imaging in Gout Management / S. Li, G. Xu, J. Liang [et al.] // *Frontiers in Immunology*. – 2021. – Vol. 12. – P. 811323. – ISSN 1664-3224.

85. Liu, T. Thoracic spinal cord compression by extradural tophus: a case report and review of the literature / T. Liu, H. Liu, T. Zhu // *Spinal Cord Series and Cases*. – 2015. – Vol. 1. – P. 15015. – ISSN 2058-6124.

86. Liu, Y. Tophaceous Gout / Y. Liu, Y. Jiao // *Clinical Case Reports*. – 2025. – Vol. 13, N 2. – P. e70262. – ISSN 2050-0904.

87. Low, E. Tophaceous Gout / E. Low, H. Ouellette, P. L. Munk // *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*. – 2020. – Vol. 49, N 11. – P. 931–933. – ISSN 2972-4066.

88. Lyu, J.-Q. Consumption of Total and Specific Alcoholic Beverages and Long-Term Risk of Gout Among Men and Women / J.-Q. Lyu, M.-Y. Miao, J.-M. Wang [et al.] // *JAMA Network Open*. – 2024. – Vol. 7, N 8. – P. e2430700. – ISSN 2574-3805.

89. Martins, D. Gout Storm / D. Martins, C. R. Tonon, R. L. Pacca [et al.] // *The American Journal of Case Reports*. – 2021. – Vol. 22. – P. e932683. – ISSN 1941-5923.

90. Marty-Ané, A. Crystal deposition measured with dual-energy computed tomography: association with mortality and cardiovascular risks in gout / A. Marty-Ané, L. Norberciak, M. Andrès [et al.] // *Rheumatology (Oxford, England)*. – 2021. – Vol. 60, N 10. – P. 4855–4860. – ISSN 1462-0332.

91. Matos, T. D. Cervical Myelopathy Secondary to Gout: Case Report / T. D. Matos, K. de O. Teixeira, R. B. C. Fleury [et al.] // *Revista Brasileira De Ortopedia*. – 2020. – Vol. 55, N 6. – P. 796–799. – ISSN 0102-3616.

92. McQueen, F. M. Bone erosions in patients with chronic gouty arthropathy are associated with tophi but not bone oedema or synovitis: new insights from a 3 T MRI study / F. M. McQueen, A. Doyle, Q. Reeves [et al.] // *Rheumatology (Oxford, England)*. – 2014. – Vol. 53, N 1. – P. 95–103. – ISSN 1462-0332.

93. Menkü Özdemir, F. D. Gout tophus in transferred tendons after 33 years: A case report / F. D. Menkü Özdemir, B. Kafa, E. Özdemir [et al.] // *Joint Diseases and Related Surgery*. – 2021. – Vol. 32, N 3. – P. 771–774. – ISSN 2687-4792.

94. Mercken, K. Spinal gout in gouty polyarthropathy / K. Mercken, B. Valgaeren, N. Noppe // *Skeletal Radiology*. – 2025. – Vol. 54, N 11. – P. 2589–2595. – ISSN 0364-2348, 1432-2161.

95. Namas, R. Lower back pain as a manifestation of acute gouty sacroiliitis: Utilization of dual-energy computed tomography (DECT) in establishing a diagnosis / R. Namas, S. B. Hegazin, E. Memişoğlu, A. Joshi // *European Journal of Rheumatology*. – 2019. – Vol. 6, N 4. – P. 216–218. – ISSN 2147-9720.

96. Neogi, T. 2015 Gout classification criteria: an American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative / T. Neogi, T. L. T. A. Jansen, N. Dalbeth [et al.] // *Annals of the Rheumatic Diseases*. – 2015. – Vol. 74, N 10. – P. 1789–1798. – ISSN 1468-2060.

97. Newberry, S. J. Diagnosis of Gout: A Systematic Review in Support of an American College of Physicians Clinical Practice Guideline / S. J. Newberry, J. D. FitzGerald, A. Motala [et al.] // *Annals of Internal Medicine*. – 2017. – Vol. 166, N 1. – P. 27–36. – ISSN 1539-3704.

98. Ohnishi, J. Gout in the Flexor Hallucis Longus Tendon Mimicking Cellulitis: A Case Report / J. Ohnishi, N. Ishimaru, H. Seto [et al.] // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2020. – Vol. 110, N 1. – P. Article8. – ISSN 1930-8264.

99. Oliviero, F. Synovial fluid analysis: Relevance for daily clinical practice / F. Oliviero, B. F. Mandell // *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*. – 2023. – Vol. 37, N 1. – P. 101848. – ISSN 1532-1770.

100. Panina, E. V. Prospects for prescription of urate-lowering therapy in patients with asymptomatic hyperuricemia and gout / E. V. Panina, M. S. Eliseev // *Meditinskiy sovet = Medical Council*. – 2023. – N 21. – P. 128–134. – ISSN 2658-5790, 2079-701X.

101. Park, E. H. Dual-Energy Computed Tomography Applications in Rheumatology / E. H. Park, T. O'Donnell, J. Fritz // *Rheumatic Disease Clinics of North America*. – 2025. – Vol. 51, N 2. – P. 361–382. – ISSN 0889857X.

102. Park, E. H. Not All Green Is Tophi: The Importance of Optimizing Minimum Attenuation and Using a Tin Filter to Minimize Clumpy Artifacts on Foot and Ankle Dual-Energy CT / E. H. Park, W.-H. Yoo, Y. S. Song [et al.] // *American Journal of Roentgenology*. – 2020. – Vol. 214, N 6. – P. 1335–1342. – ISSN 0361-803X, 1546-3141.
103. Pârvănescu, C. D. Ultrasound Features in Gout: An Overview / C. D. Pârvănescu, A. L. Bărbulescu, C. E. Biță [et al.] // *Medical Sciences*. – 2024. – Vol. 12, N 3. – P. 37. – ISSN 2076-3271.
104. Pascart, T. Early-onset gout / T. Pascart, V. Ducoulombier, C. Jauffret // *Joint Bone Spine*. – 2024. – Vol. 91, N 5. – P. 105704. – ISSN 1297319X.
105. Pastor, C. M. Usefulness of ultrasound in the diagnosis of crystal deposition diseases / C. M. Pastor, E. A. Perez, E. G. Casares // *European Journal of Rheumatology*. – 2022. – Vol. 11, N 3. – P. S334–S347. – ISSN 2147-9720.
106. Pattamapaspong, N. Value of ultrasonography in the diagnosis of gout in patients presenting with acute arthritis / N. Pattamapaspong, W. Vuthiwong, T. Kanthawang, W. Louthrenoo // *Skeletal Radiology*. – 2017. – Vol. 46, N 6. – P. 759–767. – ISSN 1432-2161.
107. Pou, M. A. La gota, más allá de la articulación: ¿cómo debemos tratarla? / M. A. Pou, D. Martinez-Laguna, C. Diaz-Torne // *Medicina de Familia. SEMERGEN*. – 2024. – Vol. 50, N 5. – P. 102176. – ISSN 11383593.
108. Punzi, L. Gout: one year in review 2025 / L. Punzi, L. Scagnellato, P. Galozzi [et al.]. – Text : electronic // *Clinical and Experimental Rheumatology*. – 2025. – URL: <https://www.clinexprheumatol.org/abstract.asp?a=22255> (accessed: 03.09.2025).
109. Qing, P. Case Report: Intradural gout tophi without systemic gout symptoms / P. Qing, S. Xie, C. Feng [et al.] // *Frontiers in Surgery*. – 2025. – Vol. 12. – P. 1472886. – ISSN 2296-875X.
110. Reijnierse, M. Imaging of Crystal Disorders: / M. Reijnierse, C. Schwabl, A. Klauser // *Radiologic Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 60, N 4. – P. 641–656. – ISSN 00338389.

111. Rettenbacher, T. Diagnostic imaging of gout: comparison of high-resolution US versus conventional X-ray / T. Rettenbacher, S. Ennemoser, H. Weirich [et al.] // *European Radiology*. – 2008. – Vol. 18, N 3. – P. 621–630. – ISSN 0938-7994, 1432-1084.

112. Richette, P. 2018 updated European League Against Rheumatism evidence-based recommendations for the diagnosis of gout / P. Richette, M. Doherty, E. Pascual [et al.] // *Annals of the Rheumatic Diseases*. – 2020. – Vol. 79, N 1. – P. 31–38. – ISSN 00034967.

113. Sanghavi, N. Dual-Energy Computed Tomography (DECT) Resolves the Diagnostic Dilemma in an Atypically Presenting Case of Gout / N. Sanghavi, S. Korem, S. Dey [et al.] // *Cureus*. – 2023. – Vol. 15, N 4. – P. e38247. – ISSN 2168-8184.

114. Shang, J. Gout of feet and ankles in different disease durations: diagnostic value of single-source DECT and evaluation of urate deposition with a novel semi-quantitative DECT scoring system / J. Shang, X.-H. Li, S.-Q. Lu [et al.] // *Advances in Rheumatology*. – 2021. – Vol. 61, N 1. – P. 36. – ISSN 2523-3106.

115. Shang, J. Diagnostic Performance of Dual-energy CT Versus Ultrasonography in Gout: A Meta-analysis / J. Shang, L.-P. Zhou, H. Wang, B. Liu // *Academic Radiology*. – 2022. – Vol. 29, N 1. – P. 56–68. – ISSN 1878-4046.

116. Shen, G. A Case of Tophaceous Pseudogout on 18F-FDG PET/CT Imaging / G. Shen, M. Su, B. Liu, A. Kuang // *Clinical Nuclear Medicine*. – 2019. – Vol. 44, N 2. – P. e98–e100. – ISSN 1536-0229.

117. Shin, D. H. Clumpy artifacts can be differentiated from tophi with DECT: comparison between gout-free and gouty patients / D. H. Shin, Y. S. Song, Y. Choi [et al.] // *The British Journal of Radiology*. – 2022. – Vol. 95, N 1129. – P. 20210990. – ISSN 0007-1285, 1748-880X.

118. Shu, S. Spinal Gout: An Unusual Cause of Low Back Pain / S. Shu, G. M. Garrison // *Journal of Primary Care & Community Health*. – 2024. – Vol. 15. – P. 21501319241271907. – ISSN 2150-1319, 2150-1327.

119. Simon, D. Von der konventionellen Bildgebung zum Cutting Edge Imaging in der Rheumatologie / D. Simon, S. Kemenes, I. Minopoulou, A. Kleyer // *Zeitschrift*

für Rheumatologie. – 2023. – Vol. 82, N 8. – P. 666–671. – ISSN 0340-1855, 1435-1250.

120. Sirotti, S. Imaging of crystal-induced arthropathies in 2025 / S. Sirotti, T. Pascart, R. Thiele, G. Filippou // Best Practice & Research Clinical Rheumatology. – 2025. – P. 102063. – ISSN 15216942.

121. Sivera, F. A glance into the future of gout / F. Sivera, M. Andres, N. Dalbeth // Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease. – 2022. – Vol. 14. – P. 1759720X221114098. – ISSN 1759-720X.

122. Sotniczuk, M. The Clinical Utility of Dual-Energy Computed Tomography in the Diagnosis of Gout-A Cross-Sectional Study / M. Sotniczuk, A. Nowakowska-Płaza, J. Wroński [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2022. – Vol. 11, N 17. – P. 5249. – ISSN 2077-0383.

123. Stamp, L. Is colchicine prophylaxis required with start-low go-slow allopurinol dose escalation in gout? A non-inferiority randomised double-blind placebo-controlled trial / L. Stamp, A. Horne, B. Mihov [et al.] // Annals of the Rheumatic Diseases. – 2023. – Vol. 82, N 12. – P. 1626–1634. – ISSN 00034967.

124. Strickland, C. D. Current Techniques in the Imaging of Gout / C. D. Strickland // Seminars in Musculoskeletal Radiology. – 2025. – Vol. 29, N 02. – P. 267–274. – ISSN 1089-7860, 1098-898X.

125. Sudoł-Szopińska, I. Imaging of gout: findings and pitfalls. A pictorial review / I. Sudoł-Szopińska, P. D. Afonso, J. A. Jacobson, J. Teh // Acta Reumatologica Portuguesa. – 2020. – Vol. 45, N 1. – P. 20–25. – ISSN 2184-8777.

126. Sun, M. 2024 Update of Chinese Guidelines for Diagnosis and Treatment of Hyperuricemia and Gout. Part I : Recommendations for General Patients / M. Sun, Z. Lyu, C. Wang [et al.] // International Journal of Rheumatic Diseases. – 2025. – Vol. 28, N 7. – P. e70375. – ISSN 1756-1841, 1756-185X.

127. Taljanovic, M. S. Shear-Wave Elastography: Basic Physics and Musculoskeletal Applications / M. S. Taljanovic, L. H. Gimber, G. W. Becker [et al.] // Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc. – 2017. – Vol. 37, N 3. – P. 855–870. – ISSN 1527-1323.

128. Taljanovic, M. S. High-Resolution US of Rheumatologic Diseases / M. S. Taljanovic, D. M. Melville, L. H. Gimber [et al.] // Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc. – 2015. – Vol. 35, N 7. – P. 2026–2048. – ISSN 1527-1323.

129. Tang, Y. Spinal Gout Diagnosed by Dual-Energy CT: A Case Report of Prior Misdiagnosis / Y. Tang, J. Fu, P. Zhu [et al.]. – Text electronic // Cureus. – 2025. – URL: <https://www.cureus.com/articles/389145-spinal-gout-diagnosed-by-dual-energy-ct-a-case-report-of-prior-misdiagnosis> (accessed: 28.09.2025).

130. Tang, Y. Value of Shear Wave Elastography in the Diagnosis of Gouty and Non-Gouty Arthritis / Y. Tang, F. Yan, Y. Yang [et al.] // Ultrasound in Medicine & Biology. – 2017. – Vol. 43, N 5. – P. 884–892. – ISSN 1879-291X.

131. Teh, J. Advanced Imaging in the Diagnosis of Gout and Other Crystal Arthropathies / J. Teh, F. McQueen, I. Eshed [et al.] // Seminars in Musculoskeletal Radiology. – 2018. – Vol. 22, N 2. – P. 225–236. – ISSN 1098-898X.

132. Thiele, R. G. New Developments in Imaging in Crystalline Arthritis / R. G. Thiele // Rheumatic Disease Clinics of North America. – 2024. – Vol. 50, N 4. – P. 683–700. – ISSN 0889857X.

133. Thompson, J. W. Chronic tophaceous gout mimicking widespread metastasis / J. W. Thompson, S. Srinivasan, D. Makkuni // BMJ case reports. – 2021. – Vol. 14, N 5. – P. e236166. – ISSN 1757-790X.

134. Towiwat, P. The anatomical pathology of gout: a systematic literature review / P. Towiwat, A. Chhana, N. Dalbeth // BMC musculoskeletal disorders. – 2019. – Vol. 20, N 1. – P. 140. – ISSN 1471-2474.

135. Udongwo, N. E. Unusual Subacute Interphalangeal Tophaceous Gouty Arthritis / N. E. Udongwo, M. Odak, A. AlBayati [et al.] // Cureus. – 2021. – Vol. 13, N 3. – P. e13732. – ISSN 2168-8184.

136. Uhlig, T. Two-year reduction of dual-energy CT urate depositions during a treat-to-target strategy in gout in the NOR-Gout longitudinal study / T. Uhlig, T. Eskild, L. F. Karoliussen [et al.] // Rheumatology. – 2022. – Vol. 61, N SI. – P. SI81–SI85. – ISSN 1462-0324, 1462-0332.

137. Vicente, J. S. Lumbar Gout Tophus Mimicking Epidural Abscess with Magnetic Resonance Imaging, Bone, and Gallium Scans / J. S. Vicente, A. L. Gómez, R. L. Moreno [et al.] // *Indian journal of nuclear medicine: IJNM: the official journal of the Society of Nuclear Medicine, India.* – 2018. – Vol. 33, N 2. – P. 158–160. – ISSN 0972-3919.

138. Vlahos, I. Dual-energy CT in pulmonary vascular disease / I. Vlahos, M. C. Jacobsen, M. C. Godoy [et al.] // *The British Journal of Radiology.* – 2022. – Vol. 95, N 1129. – P. 20210699. – ISSN 0007-1285, 1748-880X.

139. Vuurberg, G. Tophaceous Gout Mimicking a Neoplasm of the Patella / G. Vuurberg, J. W. J. D. Rooy, F. M. Vanhoenacker // *Seminars in Musculoskeletal Radiology.* – 2025. – Vol. 29, N 01. – P. 134–138. – ISSN 1089-7860, 1098-898X.

140. Wali, L. Imaging of gout: an atlas / L. Wali, E. Rowbotham // *Rheumatology Advances in Practice.* – 2025. – Vol. 9, N 2. – P. rkaf051. – ISSN 2514-1775.

141. Walstra, F. E. Top-Ten Tips for Dual-Energy CT in MSK Radiology / F. E. Walstra, J. Hickie, P. Duggan [et al.] // *Seminars in Musculoskeletal Radiology.* – 2019. – Vol. 23, N 4. – P. 392–404. – ISSN 1098-898X.

142. Wang, J. X. The utility of dual energy computed tomography in the management of axial gout: case reports and literature review / J. X. Wang, B. Ng, H. Bak [et al.] // *BMC rheumatology.* – 2020. – Vol. 4. – P. 22. – ISSN 2520-1026.

143. Wang, Y. Vocal Cord Gout Nodules: A Case Report and Review of the Literature / Y. Wang, R. Ma, B. Ruan, M. Guo. – *Text electronic // Ear, Nose & Throat Journal.* – 2025. – Vol. 104, N 1\_suppl. – URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/01455613221137225> (accessed: 28.09.2025).

144. Wang, Y. <sup>99m</sup>Tc-methylene diphosphonate SPECT/CT imaging of gout spondylitis: a case report / Y. Wang, Y. Zha, R. She [et al.] // *The Journal of International Medical Research.* – 2022. – Vol. 50, N 10. – P. 3000605221129557. – ISSN 1473-2300.

145. Weaver, J. S. Magnetic resonance imaging of rheumatological diseases / J. S. Weaver, I. Omar, W. Mar [et al.] // *Polish Journal of Radiology.* – 2022. – Vol. 87. – P. e93–e112. – ISSN 1733-134X.

146. Weaver, J. S. Gouty Arthropathy: Review of Clinical Manifestations and Treatment, with Emphasis on Imaging / J. S. Weaver, E. R. Vina, P. L. Munk [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 166. – ISSN 2077-0383.

147. Wu, Z. Intraspinal extradural gout tophus in the lumbar vertebral canal: Case reports / Z. Wu, C. Liu, K. Dai, C. Zheng // *Medicine*. – 2022. – Vol. 101, N 1. – P. e28418. – ISSN 1536-5964.

148. Xue, W. Gout in the Chest Misdiagnosed as Ankylosing Spondylitis / W. Xue, S. Zhang, Q. Wang [et al.] // *Frontiers in Medicine*. – 2020. – Vol. 7. – P. 582444. – ISSN 2296-858X.

149. Yang, Y. Computed tomography and magnetic resonance imaging findings in gouty arthritis involving large joints of the upper extremities / Y. Yang, Y. Guo, S. Yu, B. Zou // *BMC medical imaging*. – 2022. – Vol. 22, N 1. – P. 167. – ISSN 1471-2342.

150. Yang, Y. CT image findings of spinal gout / Y. Yang, Y. Guo, S. Yu, B. Zou // *Spinal Cord*. – 2022. – Vol. 60, N 8. – P. 722–725. – ISSN 1362-4393, 1476-5624.

151. Zhang, B. Diagnostic value of ultrasound versus dual-energy computed tomography in patients with different stages of acute gouty arthritis / B. Zhang, M. Yang, H. Wang // *Clinical Rheumatology*. – 2020. – Vol. 39, N 5. – P. 1649–1653. – ISSN 0770-3198, 1434-9949.

152. Zhang, Q. The diagnostic performance of musculoskeletal ultrasound in gout: A systematic review and meta-analysis / Q. Zhang, F. Gao, W. Sun [et al.] // *PloS One*. – 2018. – Vol. 13, N 7. – P. e0199672. – ISSN 1932-6203.

153. Zou, Z. Gout of ankle and foot: DECT versus US for crystal detection / Z. Zou, M. Yang, Y. Wang, B. Zhang // *Clinical Rheumatology*. – 2021. – Vol. 40, N 4. – P. 1533–1537. – ISSN 1434-9949.