

Возможности применения лучевых методов исследования в диагностике кристаллических артропатий

Миронов М.П., Завадовская В.Д., Зоркальцев М.А., Куражов А.П., Фомина С.В., Шульга О.С., Жогина Т.В., Перова Т.Б.

*Сибирский государственный медицинский университет (СибГМУ)
Россия, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2*

РЕЗЮМЕ

Представлен обзор современных методов инструментальной и лабораторной диагностики кристаллических артропатий. Обсуждаются достоинства и недостатки лучевых методов исследования в выявлении критериев и построении дифференциального ряда среди различных по природе кристаллических депозитов. Показано, что метод ультразвуковой диагностики обладает высокой чувствительностью и специфичностью в диагностике кристаллических артропатий.

Введение в диагностическую практику ультразвукового метода исследования позволит значительно повысить точность диагностики кальцификатов с последующим своевременным назначением лечебной и профилактической тактики пациентами с данным типом артрита, а новый набор диагностических критериев применительно к ультразвуковому исследованию в артрологии может способствовать дальнейшему повышению точности диагностики кристаллических артропатий.

Ключевые слова: УЗИ, радиология, кристаллические артропатии, подагрический артрит, гидроксипатитная артропатия, пирофосфатная артропатия.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Для цитирования: Миронов М.П., Завадовская В.Д., Зоркальцев М.А., Куражов А.П., Фомина С.В., Шульга О.С., Жогина Т.В., Перова Т.Б. Возможности применения лучевых методов исследования в диагностике кристаллических артропатий. *Бюллетень сибирской медицины*. 2021; 20 (1): 168–177. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-168-177>.

The possibility of using radiology modalities in the diagnosis of crystalline arthropathy

Mironov M.P., Zavadovskaya V.D., Zorkaltsev M.A., Kurazhov A.P., Fomina S.V., Shulga O.S., Zhogina T.V., Perova T.B.

*Siberian State Medical University
2, Moscow Tract, Tomsk, 634050, Russian Federation*

✉ *Миронов Михаил Петрович*, e-mail: michael-07@mail.ru.

ABSTRACT

A review of current techniques of instrumental and laboratory diagnosis of crystal arthropathies is presented. Advantages and disadvantages of various methods of diagnostic radiology and diagnostic radiologic criteria employed in primary and differential diagnosis of crystal deposits are discussed in relation to their etiology and clinical peculiarities. It is proven from a wide pool of published studies that the method of ultrasonic diagnosis is the most available one, has no contraindications and demonstrates the best sensitivity and specificity in the diagnosis of crystalline arthropathy.

Key words: diagnostic ultrasound, diagnostic radiology, crystal arthropathies, gouty arthritis, hydroxyapatite deposition disease, calcium pyrophosphate-deposition disease.

Conflict of interest. Authors declare no actual or potential conflict of interest related to publication of this manuscript.

Source of financing. The authors state that there is no funding for the study.

For citation: Mironov M.P., Zavadovskaya V.D., Zorkaltsev M.A., Kurazhov A.P., Fomina S.V., Shulga O.S., Zhogina T.V., Perova T.B. The possibility of using radiology modalities in the diagnosis of crystalline arthropathy. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2021; 20 (1): 168–177. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-168-177>.

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания суставов являются наиболее распространенной патологией опорно-двигательного аппарата, приводящей к инвалидизации среди всех возрастных групп населения [1]. Ревматические заболевания с поражением суставов включают такие нозологические формы, как ревматоидный артрит, псориатический артрит, реактивные артриты. Поражения суставов периферического скелета входят в большую группу спондилоартритов. Большинство ревматических болезней (РБ), поражая структуры опорно-двигательного аппарата человека, существенно снижают качество жизни, а также ограничивают возможности для активной социальной деятельности [2].

По данным Американского ревматологического общества, обосновано выделение до 200 нозологических единиц ревматической патологии [3]. Наиболее подвержены обменным и дегенеративным ревматическим болезням лица старшего возраста. Около 40% людей старше 70 лет страдают остеоартрозом, а 25% из них не могут переносить ежедневные физические нагрузки. Более половины больных ревматоидным артритом оказываются нетрудоспособными уже через 10 лет после начала развития заболевания, а 80% из их числа постоянно испытывают сильные боли, существенно ухудшающие качество жизни [1].

Серьезную проблему современной ревматологии представляет собой своевременная диагностика ранних артритов. Среди ревматологических больных, впервые обратившихся за медицинской помощью, на амбулаторном этапе в 41% случаев были неправильно диагностированы ревматические заболева-

ния. Лишь у 49% больных было совпадение диагнозов после осмотра специалиста [2].

Отдельной проблемой является высокая стоимость ведения больных с РБ. Это обусловлено сложностью и дороговизной методов исследования, а также необходимостью многолетнего, а порой и пожизненного лечения многих, особенно молодых, пациентов с применением дорогостоящих консервативных, оперативных методов, санаторно-курортной, социальной и психологической реабилитации.

Характер патологических изменений, их локализация и распространенность, закономерности вовлечения различных групп суставов обеспечивают дифференциальный диагноз между различными ревматическими заболеваниями.

Особое место в перечне заболеваний суставов в связи со сложностью диагностики и особенностями клинической картины занимают кристаллические артропатии, к которым относится группа заболеваний, характеризующаяся отложением в суставах и околосуставных тканях микрокристаллов различного химического состава. Основные нозологические формы воспалительных полиартропатий, ассоциированных с депонированием кристаллических структур: подагра (депонирование кристаллов уратов), пирофосфатная артропатия (депонирование кристаллов пирофосфата кальция) и гидроксипатитная артропатия (депонирование кристаллов гидроксипатита) [1, 3].

ОСНОВНЫЕ НОЗОЛОГИИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛИАРТРОПАТИЙ

Подагрический артрит (gout, podagra, подагра) – это хроническое прогрессирующее заболевание

суставов, характеризующееся нарушением пуриново-го обмена и повышенным содержанием мочевой кислоты в крови, с последующим отложением в тканях натриевой соли мочевой кислоты (уратов) и образованием подагрических тофусов, окруженных фиброваскулярной тканью. Подагрические тофусы представляют собой безболезненные узелковые образования в диапазоне от 5 мм до 10 см, а период формирования тофусов с момента дебюта заболевания – 5–6 лет. Распространенность подагры составляет: 3,9% в США, 10,9% во Франции, 1,4–2,5% в Великобритании, 1,4% в Германии и 3,2–6,1% в Новой Зеландии [3].

Отложение подагрических тофусов в суставных и околоуставных тканях сопровождается развитием подагрических артритов (подагрической артропатии). В клинической картине подагрических артритов преобладают рецидивирующие острые моно- или олигоартриты суставов преимущественно нижних конечностей – плюсне-фаланговый сустав 1-го пальца и межфаланговый сустав 3-го пальца. При этом не исключается вовлечение других мелких и крупных суставов периферического (суставы кисти, коленные, плечевые, локтевые, голеностопные и тазобедренные суставы) и аксиального (крестцово-подвздошные суставы, суставы позвоночника) скелета с быстрым развитием острого болевого синдрома, достигающего максимума в течение 6–12 ч и последующим хроническим болевым синдромом.

При хроническом течении развивается поражение органов-мишеней, в частности почек, с развитием хронической почечной недостаточности. В отсутствие лечения происходит укорочение межприступных периодов, приступы артрита становятся более частыми, увеличивается их интенсивность и продолжительность, вовлекаются «новые» суставы.

При визуальном осмотре обращает на себя внимание гиперемия и гипертермия кожи в области сустава, болезненность при пальпации и образование участков выбухания на уровне тофусов [4]. Длительное воздействие тофусов на подлежащие структуры приводит к поражению мягкотканых элементов сустава, суставного гиалинового хряща, подлежащей костной ткани. Околосуставные и внутрисуставные тофусы влияют на формирование эрозий – краевой деструкции, как правило, с четкими наружными контурами.

Стандартизированным и основополагающим методом визуализации эрозий является рентгенография, которая имеет ограничения в ранней диагностике заболевания суставов. Рентгенографические признаки подагры проявляются в позднем хроническом периоде, обычно возникающие не ранее чем через 6 лет [5] после начала заболевания и практически всегда присутствуют у пациентов с подкожными тофусами.

Кальций-гидроксиапатитный артрит, или артропатия (Calcium Hydroxyapatite Crystal Deposition Disease, CHA Deposition Disease), – это заболевание неясного генеза, характеризующееся суставным болевым синдромом в сочетании с отложением кристаллов гидроксиапатита в околоуставных тканях, главным образом в сухожилиях, суставных капсулах, сумках и синовиальной оболочке.

Выделяют первичный (идиопатический) и вторичный кальций-гидроксиапатитный артриты. Последний развивается при хронической почечной недостаточности, диффузных заболеваниях соединительной ткани, после травматических повреждений. Обызвествление отдельных опухолей также представляет собой отложение кристаллов гидроксиапатита.

Наиболее частой локализацией отложения кристаллов гидроксиапатита является плечевой сустав, реже – бедренная кость (большой вертел), локтевой сустав, лучезапястный и коленный суставы, а также суставы кисти, стопы, поясничный отдел позвоночника. Гидроксиапатитная артропатия может поражать сухожилия других мышц, таких как сухожилия средней ягодичной мышцы или мышц бедра. Отложение кристаллов чаще происходит на расстоянии 1 см от места прикреплений сухожилий к костям. Кальцификаты различных размеров и форм могут депонироваться в сумках и капсулах суставов.

Заболевание чаще встречается в среднем возрасте, чаще у мужчин, протекает по типу как моно-, так и олигоартритов [6]. Может возникать остро или имеет хронический рецидивирующий характер. Характеризуется отеком мягких тканей и ограничением подвижности в пораженных суставах. Возможно асимптоматичное течение заболевания.

Визуализация или определение обызвествлений имеет решающее значение в установлении причины болевого синдрома. Наиболее чувствительным методом выявления обызвествлений сухожильно-связочного аппарата являются рентгенологические методы – обзорная рентгенография и компьютерная томография (КТ).

Кальций-пирофосфатная артропатия (ПФА, Calcium Pyrophosphate Dihydrate Crystal Deposition Disease, CPPD Deposition Disease, псевдоподагра, полиартикулярный хондрокальциноз) – воспалительное заболевание суставов по типу моно- или олигоартрита с острым, подострым и хроническим вариантом течения, находящееся по распространенности на третьем месте после ревматоидного артрита и подагры среди воспалительных артритов, частота встречаемости которого увеличивается с возрастом [7].

Развитие ПФА сопровождается образованием и депонированием кристаллов дигидрата пирофосфа-

та кальция (ДПФК) в суставах и развивающегося в связи с этим воспаления иммунного характера [8], псевдоподагрических форм воспалительных артритов [9], а также возможны варианты бессимптомного течения болезни [10]. Наиболее часто поражаемыми суставами являются коленные, за которыми следуют суставы верхних конечностей, тазобедренный сустав и суставы стопы, а также лобковый симфиз [11].

Клиническая картина ПФА при остром течении часто схожа с подагрической (псевдоподагра) с более продолжительным периодом развития и менее выраженным болевым синдромом. При этом в области пораженного сустава может отмечаться гипертермия, гиперемия, припухлость и уплотнение мягких тканей. Острый приступ ПФА может сопровождаться лихорадкой.

Хроническое течение характеризуется менее выраженной клинической картиной, редким вовлечением в патологический процесс пястно-фаланговых суставов, отсутствием внесуставных симптомов, а также утренней скованностью. На фоне хронического течения возможно появление острых приступов.

При осложненном течении возможно появление деструктивной (ревматоидноподобной) формы, требующей дифференциальной диагностики со всеми эрозивными атропатиями, а также с псевдонейропатической артропатией, отличающейся повышенной чувствительностью при пальпации и отсутствием явной неврологической симптоматики. Ревматоидноподобная и псевдонейропатическая формы представляют существенную диагностическую проблему.

При остром приступе, особенно при моноартрите крупного сустава, в ряде случаев может развиваться септический артрит. В этих случаях имеют значение наличие у больного подобных приступов в прошлом, отсутствие «септических» сдвигов в крови, заметного влияния антибиотиков, а также характерные изменения на рентгенограммах. Появление острого синовита всегда должно приводить к рассмотрению септического артрита в качестве дифференциального диагноза.

МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ И ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Ведущее место в диагностике кристаллических артропатий занимают лучевые методы исследования, которые включают в себя рентгенографию, томографические методы визуализации (КТ и магнитно-резонансную томографию (МРТ)), а также ультразвуковой метод исследования (УЗИ). Особенности визуальных проявлений определенных форм кристаллических артропатий определяются химическим составом кристаллов.

Компьютерная томография. Кристаллы уратов, приводящие к формированию подагрических тофусов, при *подагрическом артрите* рентгенонегативны, поэтому при рентгенографии и КТ костные изменения в местах отложения тофусов имеют вид краевой литической деструкции с четкими контурами – эрозии. Последние при подагрической артропатии имеют округлую или овальную форму различных размеров и сопровождаются периостальной реакцией в виде тонкого ободка костной плотности, окружающего полностью или частично мягкотканый компонент тофуса.

Большая протяженность и выраженность внутрисуставных тофусов, а также большая длительность процесса приводят к распространенной обширной деструкции сочленяющихся суставных поверхностей. При параартикулярной локализации тофуса длительно сохраняется обычная ширина суставной щели, поскольку их отложение на уровне гиалинового хряща происходит не по всей его поверхности одновременно. При нарушении кальциевого метаболизма в тофусах могут визуализироваться кальцинированные включения.

При небольших размерах костные дефекты могут напоминать эрозии при ревматоидном артрите, псориазическом артрите, кальций-пирофосфатной артропатии или кисты, не имеющие специфических проявлений. При применении КТ с использованием рентгеновского излучения одной энергии подагрические тофусы выглядят как низкоплотные костные дефекты с более точным (по сравнению с рентгенографией) определением распространенности, локализации и характера периостальной реакции, а также определением кальцинированных включений при нарушении в тофусах кальциевого метаболизма.

В последнее десятилетие в клинической практике стала использоваться двухэнергетическая КТ (DECT) – модифицированная компьютерная томография, основанная на использовании рентгеновских лучей низкой и высокой энергий (80 и 140 кВ) для получения изображений различных типов тканей.

Регистрация разницы в ослаблении рентгеновского пучка уратами и костными балками, дополненная цветным кодированием уратов и кальция в суставах и окружающих тканях, позволяет с высокой точностью обеспечивать идентификацию солей уратов *in vivo* вне зависимости от их размеров и локализации.

Данный метод двухэнергетической КТ, обеспечивая качественную и количественную оценку кристаллов моноурата натрия, показывает хорошую чувствительность и специфичность в прогнозировании подагры по сравнению с анализом синовиаль-

ной жидкости. Чувствительность метода 85–100%, специфичность 83–92% [12, 13].

Отложения кристаллов гидроксиапатита и кальций-пирофосфатных кристаллов при *гидроксиапатитном артрите и кальций-пирофосфатном артрите* сопровождается формированием хондрокальциноза, поэтому рентгенологические методы обладают высокой чувствительностью в их выявлении. При рентгенографии хондрокальциноз (ХК) проявляется в виде точечных и линейных участков обызвествлений в проекции гиалинового и фиброзно-волокнутого хряща. Типичные места локализации кальцинов включают фиброзно-волокнутую ткань менисков коленного сустава, треугольный хрящевой диск лучезапястного сустава, диск височно-нижнечелюстного сустава, а также межлобковый диск.

Рентгенография до настоящего времени остается востребованным методом в выявлении хондрокальциноза, при этом в публикациях обсуждаются вопросы распространенности и локализации хондрокальциноза. Так, А. Abhishek и соавт. (2012) провели рентгенографическое исследование коленных, тазобедренных суставов и суставов кистей среди репрезентативной группы из 3 170 добровольцев [14]. Признаки ХК были выявлены у 428 (13,7%) человек. Наиболее частой локализацией ХК был коленный сустав (8%). При этом его фиброзно-волокнустый хрящ поражался чаще (88,5%), чем гиалиновый (55%), и чаще в латеральных аспектах (89,1%), чем медиальных (74%).

Распространенность ХК в лучезапястном суставе составила 6,9%, тазобедренном суставе – 5%, лобковом симфизе – 3,6%, пястно-фаланговом суставе – 1,5%. Возраст пациента не коррелировал с локализацией ХК в гиалиновом хряще по сравнению с фиброзно-волокнустым хрящом.

Рентгенологически кристаллические отложения визуализируются в виде бесструктурных участков уплотнения, различных по размеру и плотности. Околосуставные кальциваты имеют линейную, треугольную, округлую или овальную форму и локализуются соответственно месту прикрепления сухожилия. Большие опухолеподобные участки кальцинации имеют место у больных хронической почечной недостаточностью или диффузными заболеваниями соединительной ткани.

При *остеоартрозе* распространенность отложений кальцификатов в тканях голеностопного сустава составляет 51,3% [15], плечевого сустава – 98,9% [16], тазобедренного сустава – 96,6% [17] и коленного сустава – 94,3–100% [17, 18].

Компьютерная томография имеет высокие показатели чувствительности и специфичности при диагностике кальциноза тканей сустава. Так, в работе М. Devyani и соавт. (2014) при использовании одно-

и двухэнергетической КТ было продемонстрировано наличие кристаллов ДПФК сразу в нескольких структурах коленного сустава [19].

В 2013 г. S. Tougaie и соавт. провели исследование методом КТ высокого разрешения 68 коленных суставов (34 пары суставов) от посмертных доноров, средних возраст которых составлял 84 года. Результаты показали наличие кальцификатов фиброзно-волокнутого хряща в 34% и гиалинового хряща коленных суставов в 21% коленных суставах [20]. Это исследование также выявило высокую распространенность отложений ДПФК в околосуставных тканях большеберцовой кости.

Более широкое КТ-исследование коленных суставов группы из 608 пациентов, проведенное в Японии, продемонстрировало четкую корреляцию между присутствием кристаллов ДПФК и глубиной дегенерации хряща в коленном суставе, подтверждая мнение, что отложение кристаллов связано с истончением хряща [21]. Однако целесообразность использования данной модальности в связи с наличием лучевой нагрузки, стоимости, а также в связи с вопросами точности КТ требует дополнительных исследований, направленных на обоснование доступности этого метода в диагностике кристаллических артропатий (или в выявлении ХК) [22].

Магнитно-резонансная томография. Среди кристаллических артропатий МРТ обладает высокой информативностью в диагностике подагры на основании визуализации как гетерогенного, преимущественно гипоинтенсивного в T2 ВИ и FSat тофуса, так и фибро-васкулярной ткани, окружающей тофус, отчетливо визуализируемый после контрастного усиления. Однако МРТ редко применяется для визуализации кристаллов при других кристаллических артропатиях (гидроксиапатитной и кальций-пирофосфатной артропатии) вследствие того, что кристаллические структуры не формируют сигнал.

Использование МРТ в качестве метода визуализации в условиях, связанных с отложением кристаллов ДПФК, часто приводит к ошибочному диагнозу [23]. Нечувствительность МРТ к обнаружению содержащих кальцинированных кристаллов в хрящевой ткани была подтверждена исследованием В. Digim и соавт. (2012), показавшими, что при использовании магнитно-резонансного томографа с напряженностью поля 1,5 Т было пропущено 75% депозитов ДПФК при исследовании трупного коленного сустава [24]. В связи с этим обосновано проведение большего количества исследований для определения возможностей методов МР-диагностики при кристаллических артропатиях для использования метода в рутинной диагностической практике.

Световые методы исследования (световая микроскопия, поляризованная микроскопия, фазово-контрастная микроскопия) в настоящее время являются эталоном в обнаружении кристаллов ДПФК в синовиальной жидкости при диагностике больных ПФА [25]. При ПФА кристаллы могут определяться в синовиальной жидкости даже в ранее не воспалявшемся суставе, что характерно и при подагре. С одной стороны, феномен образования и персистенции кристаллов в суставах крайне стойкий и не зависит от стадии и периода болезни. С другой стороны, кристаллы ДПФК обладают слабым лучепреломлением или совсем не преломляют свет [26]. Это означает, что они плохо визуализируются и требуется большой опыт и время (просмотр не менее 30 полей зрения), а иногда и специальная окраска на кальций. Непременным условием для визуализации кристаллов ДПФК является их высокая концентрация в синовиальной жидкости. Низкая концентрация кристаллов ДПФК в синовиальной жидкости может привести к отрицательному результату, вследствие трудности их обнаружения в одном образце синовиальной жидкости.

Ультразвуковая диагностика. На сегодняшний день не вызывает сомнения актуальность УЗИ в артрологии в качестве неинвазивного и безопасного метода, обладающего высокой информативностью и являющегося ценным инструментом диагностики для точной оценки внутрисуставных и параартикулярных структур, вовлеченных в широкий спектр ревматических заболеваний у взрослых и детей [27]. В современной литературе широко освещены вопросы ультразвуковой диагностики при исследовании больных РА, включая оценку толщины и характера васкуляризации синовиальной оболочки, излагались вопросы оценки состояния синовиальной ткани при хронических артропатиях и активности воспалительного процесса [7, 23, 28–32].

Наряду с указанной областью использования УЗИ в артрологии, литературные данные последнего десятилетия свидетельствуют о возрастающей роли ультразвука для использования в диагностике кристаллических артропатий с приведением данных о высокой диагностической эффективности метода в выявлении кристаллических депозитов малых размеров [7, 23, 28–32]. Ультразвуковая визуализация тканей основана на акустическом сопротивлении тканей с отражением ими ультразвука и формированием изображения исследуемого объекта в качестве акустических отражений. Это позволяет лучше дифференцировать кристаллические тела от окружающих тканей (гиалиновый хрящ, синовиальная жидкость и др.) за счет большего числа отраженных от них акустических сигналов [32].

При *подагрической артропатии* УЗИ применяется не только для определения внутрисуставного выпота, который отмечается в различные фазы течения заболевания, но и для визуализации тофусов и уточнения состояния гиалинового хряща. Тофусы в ультразвуковом отображении характеризуются как гетерогенные, преимущественно гиперэхогенные образования, которые могут быть окружены более гипоэхогенным поверхностным ободком. Также к признакам подагры относят гиперэхогенную поверхность гиалинового хряща в отличие от локализации гиперэхогенной линии в толще суставного хряща, что имеет место при кальций-пирофосфатной артропатии [33].

При УЗИ можно визуализировать гиперэхогенные точечные и линейные участки в проекции мягких тканей, явление «снежной бури» в синовиальной жидкости за счет наличия мелких округлых частиц различной эхогенности, а также эрозию костей [33]. Окружающая воспалительный процесс фиброваскулярная ткань приводит к наличию цветковых локусов при использовании цветового доплеровского картирования.

О высокой точности УЗИ в выявлении подагрических тофусов изложено в работе М. Gruber и соавт. (2013) [31]. Исследование 21 пациента с клиническими подозрениями на хроническую или острую формы подагры в 37 суставах показало сопоставимую чувствительность методов ДЕСТ (67,6%) и УЗИ (64,7%).

Различные варианты визуальной картины кальцификаций внутриартикулярных и параартикулярных структур, по данным УЗИ, описываются при гидроксиапатитной и кальций-пирофосфатной артропатиях [7, 28, 34–36].

Так, у больных с *гидроксиапатитной артропатией* было выделено четыре морфологические формы кальцификации сухожилий: дугообразная (гиперэхогенная дуга с широкой акустической тенью), узловая (единичный гиперэхогенный очаг без акустической тени), фрагментарная (два или более гиперэхогенных очага с или без акустической тени) и кистозная (гиперэхогенная полоса с анэхогенным или низкоэхогенным содержимым). Узловая, фрагментарная и кистозная формы связаны с острой симптоматической фазой кальцифицирующего тендинита, в то время как дуговая форма больше соответствует хронической или бессимптомной фазе [36].

Для визуализации депозитов ДПФК при исследовании пациентов с кальций-пирофосфатной артропатией А.С. Ellabban и соавт. (2011) были предложены следующие ультразвуковые критерии. Критерий I: тонкие гиперэхогенные полосы, расположенные параллельно поверхности гиалинового хряща;

критерий II – «точный паттерн», состоящий из нескольких тонких сверкающих гиперэхогенных участков; критерий III: однородные гиперэхогенные узловые или овальные отложения, часто подвижные, локализованные в суставных сумках и заворотах [37].

В этой же работе результаты проведения УЗИ 60 пациентов с выпотом в коленном суставе показали следующую картину. Критерий II был выявлен у 30 пациентов (как отдельно у 21 пациента, так и в сочетании с критерием I и (или) критерием III у 9 пациентов), отдельно критерий III был выявлен у 2 пациентов. Критерий II был выявлен у всех 18 пациентов, имеющих признаки ХК лучезапястного сустава, что делает его самым распространенным. При УЗИ депозиты ДПФК представлены гиперэхогенными включениями с четкой акустической тенью при их диаметре более 10 мм. Однако появление акустической тени возможно уже на ранней стадии заболевания при диаметре кристаллов до 2–3 мм.

При визуализации депозитов ДПФК наиболее часто встречается критерий II внутри хрящевой ткани или сухожилий сустава [38]. Более того, с помощью УЗИ было продемонстрировано успешное выявление кристаллов ДПФК в периартикулярных тканях, которые не визуализировались рентгенологически [39].

В ходе проведенных исследований ультразвуковой метод показал достаточно высокие показатели чувствительности и специфичности (от 60–85 до 90,6–100% соответственно [29, 30, 34, 37, 40]), а также успешное выявление критериев отложений депозитов ДПФК [34, 37]. Однако фактически чувствительность УЗИ при обнаружении ДПФК варьировала в зависимости от исследуемой структуры в пределах от 34% (сухожилие) до 80% (гиалиновый хрящ).

Низкая чувствительность в выявлении кальцинатов на уровне сухожилий, вероятно, обусловлена поздним вовлечением этих структур в патологический процесс. Кроме того, низкая чувствительность ультразвука в отношении визуализации кальцинатов в тканях сухожилий может быть связана с их высокой эхогенностью или поздним вовлечением в патологический процесс [35].

Показатели чувствительности в выявлении хондрокальциноза варьировались от 55–81% для гиалинового хряща и до 68–100% для фиброзно-волокнистого хряща. Наилучшие диагностические показатели были достигнуты при визуализации непосредственно хрящевой ткани, более чем в одном суставе.

Отложения ДПФК на поверхности гиалинового хряща могут имитировать вид «двойного контура» (в виде дополнительной полосы повышенной эхогенности) отложений мочевой кислоты при пода-

гре [41, 42]. Так как эта картина считается наиболее специфическим признаком подагры, возникает необходимость проведения большого количества исследований для повышения точности ультразвуковой диагностики в визуализации кристаллических структур при подагре с целью установления конкретной нозологической формы поражения суставов [43].

Значения чувствительности и специфичности УЗИ также зависят от референтного метода, использовавшегося в исследовании. Так, применение в качестве референтного метода биопсии хрящевой ткани коленного сустава приводило к более низким показателям чувствительности и специфичности результатов УЗИ, что может быть связано с присутствием в ткани кристаллов ДПФК слишком малого размера [7].

Последнее десятилетие в клиническую практику стала внедряться **ультразвуковая эластография**, в частности при цирротических поражениях печени.

Компрессионная (квазистатическая) эластография основана на оценке эластичности тканей путем сравнения изображений до и после их сжатия. Возможности метода варьируются в зависимости от того, каким образом создается механическое напряжение в тканях (действительно статическим или динамическим сжатием), и от метода оценки результата. Метод показывает высокую эффективность при исследовании поверхностно расположенных органов, в особенности молочной и щитовидных желез [44].

Эластография сдвиговой волной (динамическая эластография) основана на использовании поперечных волн, в отличие от продольных, излучаемых датчиками в традиционной ультразвуковой диагностике. Метод применяется в диагностике цирроза и выраженных фиброзных изменений печени, хотя для обнаружения начала патологического процесса его нельзя считать надежным. Серьезным недостатком способа является невозможность получения двумерной картины с достаточной разрешающей способностью [44].

Показания к эластографии постепенно расширяются, и уже в последние годы стали появляться публикации, в которых приводятся данные об использовании эластометрии при исследовании мягкотканых структур периферического и аксиального скелета [45–47]. Так, исследования Е.Е. Drakonaki и соавт. (2012) показали, что данный метод может быть даже более чувствительным, чем результаты МРТ или В-режима ультразвука при выявлении субклинических изменений мышц и сухожилий [48].

Общей проблемой большинства проведенных исследований является недостаточная корректность методических аспектов исследований – небольшое

количество исследуемых больных, некорректность в подборе материала для сравнительной характеристики полученных результатов, относительно небольшое количество выполняемых исследований в целом [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные литературных источников свидетельствуют о востребованности на сегодняшний день ультразвукового исследования для идентификации кристаллических структур при заболеваниях суставов, в частности при кристаллических артропатиях. Это обусловлено физическими возможностями метода, обеспечивающего визуализацию экзогенности кристаллических структур, наличие типичной для кальцинированных структур акустической тени, а также определение точной локализации кальциатов. Все перечисленное обосновывает использование ультразвука качестве полезного инструмента в оценке состояния суставных структур при различных видах поражения суставов, в том числе при кристаллических артропатиях.

Однако на сегодняшний день опубликованы достаточно противоречивые данные о результатах УЗИ при исследовании пациентов с кристаллическими артропатиями, а возможности метода окончательно не исчерпаны. Так, имеет место относительно высокая вариабельность чувствительности метода в зависимости от исследуемой структуры – хряща или сухожилия. Нет определенной четкости в дифференцировке гиперэхогенных, схожих по структуре отложений (кристаллы уратов, пирофасфата и гидроксипатита кальция, кристаллов другой этиологии).

Одновременно с этим возможности УЗИ остаются до конца не исчерпаны. В настоящий момент в диагностике применяется в основном только В-режим, в то время как дополнительное внедрение метода эластографии со сдвиговой волной может значительно расширить диагностический потенциал данной модальности. Нет ясности в окончательных возможностях использования ультразвука в диагностике кристаллических артропатий в связи с недостаточным количеством работ по данной тематике с применением в них одинаковых критериев и исследованием одинаковых групп суставов. Разные результаты во многих исследованиях не позволяют сформировать четкой картины о возможностях метода.

Рентгенография, компьютерная томография и поляризационная микроскопия продолжают предоставлять важную информацию в диагностике кристаллов ДПФК. В сочетании с ультразвуком эти методы подчеркивают полиартикулярную и системную природу

кристаллов ДПФК, высокую частоту кальцификации не только хрящевой ткани, но и связок и сухожилий, а также воспаление и разрушение тканей, связанные с отложением кристаллов. Введение в диагностическую практику ультразвукового метода исследования позволит значительно повысить точность диагностики кальцификатов с последующим своевременным назначением лечебной и профилактической тактики пациентами с данным типом артрита.

Для определения возможного потенциала метода необходимы дальнейшие исследования. Новый набор диагностических критериев применительно к ультразвуковому исследованию в артрологии может способствовать дальнейшему повышению точности обследования. Также необходимо изучить надежность метода, приведя данные результатов исследований к единому мнению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьяновский А.А. Ревматические заболевания опорно-двигательного аппарата: биотерапевтическая концепция комплексной терапии. *Лечащий врач*. 2003; (3): 10–14.
2. Галушко Е.А. Медико-социальная значимость ревматических заболеваний: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2011: 48.
3. Neogi T., Jansen T.L., Dalbeth N., Fransen J., Schumacher H.R., Berendsen D., Brown M., Choi H., Edwards N.L., Janssens H.J., Lioté F., Naden R.P., Nuki G., Ogdie A., Perez-Ruiz F., Saag K., Singh J.A., Sundy J.S., Tausche A.K., Vazquez-Mellado J., Yarows S.A., Taylor W.J. Gout classification criteria: an American College of Rheumatology European League Against Rheumatism collaborative initiative. *Arthritis & Rheumatology*. 2015; 67 (10): 2557–2568. DOI: 10.1002/art.39254.
4. Mirmiran R., Bush T., Cerra M.M., Grambart S., Kauschinger E., Younger M., Zychowicz M. Joint Clinical Consensus Statement of the American College of Foot and Ankle Surgeons® and the American Association of Nurse Practitioners®: Etiology, Diagnosis, and Treatment Consensus for Gouty Arthritis of the Foot and Ankle. *J. Foot Ankle Surg.* 2018; 57 (6): 1207–1217. DOI: 10.1053/j.jfas.2018.08.018.
5. Барскова В.Г. Диагностика подагры (лекция). *Научно-практическая ревматология*. 2012; 50 (4): 62–66. DOI: 10.14412/1995-4484-2012-1114.
6. Saber M., Mudgal P. Hydroxyapatite deposition disease. URL: <https://radiopaedia.org/articles/hydroxyapatite-deposition-disease?lang=gb>.
7. Adinolfi F., Iagnocco A., Filippucci E., Cimmino M.A., Bertoldi I., Di Sabatino V., Picerno V., Delle Sedie A., Sconfienza L.M., Frediani B., Scir C.A. Ultrasound in the diagnosis of calcium pyrophosphate dihydrate deposition disease. A systematic literature review and a meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2016; 24 (6): 973–981. DOI: 10.1016/j.joca.2016.01.136.
8. Rutsch F., Terkeltaub R. Parallels between arterial and cartilage calcification: what understanding artery calcification can teach us about chondrocalcinosis. *Curr. Opin. Rheumatol.* 2003; 15 (3): 302–310. DOI: 10.1097/00002281-200305000-00019.

9. Tedeschi S.K., Stone R.M., Helfgott S.M. Calcium pyrophosphate crystal inflammatory arthritis (pseudogout) with myelodysplastic syndrome: A new paraneoplastic syndrome? *J. Rheumatol.* 2017; 44 (7): 1101–1102. DOI: 10.3899/jrheum.170106.
10. Abhishek A., Doherty M. Update on calcium pyrophosphate deposition. *Clin. Exp. Rheumatol.* 2016; 34 (4 Suppl. 98): 32–38.
11. Wada N., Yamashita K., Hiwatashi A., Togao O., Kamei R., Momosaka D., Maeda Y., Matsushita T., Yamasaki R., Iida K., Yamada Y., Kira J.I., Honda H. Calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease of the spinal dura mater: a case report. *BJR Case Rep.* 2017; 4 (1): 20170049. DOI: 10.1259/bjrcr.20170049.
12. Smelser C.D., Stoffey R.D., Gentili A., Steinbach L.S., Chew F.S., Guglielmi G. Gout Imaging *Medscape*. 2017. URL: <https://emedicine.medscape.com/article/389965-overview>.
13. Newberry S.J., FitzGerald J., Maglione M.A. et al. Diagnosis of gout. Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality (US); 2016 Feb. (Comparative Effectiveness Reviews, No. 158). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK350137/>.
14. Abhishek A., Doherty S., Maciewicz R., Muir K., Zhang W., Doherty M. Chondrocalcinosis is common in the absence of knee involvement. *Arthritis Res. Ther.* 2012; 14 (5): R205. DOI: 10.1186/ar4043.
15. Hubert J., Weiser L., Hischke S., Uhlig A., Rolvien T., Schmidt T., Butscheidt S.K., Püschel K., Lehmann W., Beil F.T., Hawellek T. Cartilage calcification of the ankle joint is associated with osteoarthritis in the general population. *BMC. Musculoskelet Disord.* 2018; 19 (1): 169. DOI: 10.1186/s12891-018-2094-7.
16. Hawellek T., Hubert J., Hischke S., Vettorazzi E., Wegscheider K., Bertrand J., Pap T., Krause M., Püschel K., Rütther W., Niemeier A. Articular cartilage calcification of the humeral head is highly prevalent and associated with osteoarthritis in the general population. *J. Orthop Res.* 2016; 34 (11): 1984–1990. DOI: 10.1002/jor.23227.
17. Hawellek T., Hubert J., Hischke S., Krause M., Bertrand J., Pap T., Püschel K., Rütther W., Niemeier A. Articular cartilage calcification of the hip and knee is highly prevalent, independent of age but associated with histological osteoarthritis: evidence for a systemic disorder. *Osteoarthr. Cartil.* 2016; 24 (12): 2092–2099. DOI: 10.1016/j.joca.2016.06.020.
18. Mitsuyama H., Healey R.M., Terkeltaub R.A., Coutts R.D., Amiel D. Calcification of human articular knee cartilage is primarily an effect of aging rather than osteoarthritis. *Osteoarthr. Cartil.* 2007; 15 (5): 559–565. DOI: 10.1016/j.joca.2006.10.017.
19. Misra D., Guermazi A., Sieren J.P., Lynch J., Torner J., Neogi T., Felson D.T. CT imaging for evaluation of calcium crystal deposition in the knee: initial experience from the Multicenter Osteoarthritis (MOST) study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2015; 23 (2): 244–248. DOI: 10.1016/j.joca.2014.10.009.
20. Touraine S., Ea H.K., Bousson V., Cohen-Solal M., Laouisset L., Chappard C., Lioté F., Laredo J.D. Chondrocalcinosis of femoro-tibial and proximal tibio-fibular joints in cadaveric specimens: a high-resolution CT imaging study of the calcification distribution. *PLoS One.* 2013; 8 (1): e54955. DOI: 10.1371/journal.pone.0054955.
21. Ryu K., Iriuchishima T., Oshida M., Kato Y., Saito A., Imada M., Aizawa S., Tokuhashi Y., Ryu J. The prevalence of and factors related to calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition in the knee joint. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014; 22 (7): 975–979. DOI: 10.1016/j.joca.2014.04.022.
22. Miksanek J., Rosenthal A.K. Imaging of calcium pyrophosphate deposition disease. *Curr. Rheumatol.* 2015; 17 (3): 20. DOI: 10.1007/s11926-015-0496-1/.
23. Rettenbacher T., Ennemoser S., Weirich H., Hartig F., Klotz W., Herold M. Diagnostic image of gout: comparison of high-resolution US versus conventional X-ray. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (3): 621–630. DOI: 10.1007/s00330-007-0802-z.
24. Dirim B., Resnick D., Abreu M., Wangwinyuvirat M., Trudell D.J., Haghighi P. Relationship between the degeneration of the cruciate ligaments and calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition: anatomic, radiologic study with histologic correlation. *Clin. Imaging.* 2013; 37 (2): 342–347. DOI: 10.1016/j.clinimag.2012.03.002.
25. Zhang W., Doherty M., Bardin T., Barskova V., Guerne P.A., Jansen T.L., Leeb B.F., Perez-Ruiz F., Pimentao J., Punzi L., Richette P., Sivera F., Uhlig T., Watt I., Pascual E. European League Against Rheumatism recommendations for calcium pyrophosphate deposition. Part I: terminology and diagnosis. *Ann. Rheum. Dis.* 2011; 70 (4): 563–570. DOI: 10.1136/ard.2010.139105.
26. Martinez Sanchis A., Pascual E. Intracellular and extracellular CPPD crystals are a regular feature in synovial fluid from uninfamed joints of patients with CPPD related arthropathy. *Ann. Rheum. Dis.* 2005; 64 (12): 1769–1772. DOI: 10.1136/ard.2005.035386.
27. Ogdie A., Taylor W.J., Weatherall M., Fransen J., Jansen T.L., Neogi T., Schumacher H.R., Dalbeth N. Imaging modalities for the classification of gout: systematic literature review and meta-analysis. *Ann. Rheum. Dis.* 2015; 74 (10): 1868–74. DOI: 10.1136/annrheumdis-2014-205431.
28. Filippucci E., Gutierrez Riveros M., Georgescu D., Salaffi F., Grassi W. Hyaline cartilage involvement in patients with gout and calcium pyrophosphate deposition disease. An ultrasound study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2009; 17 (2): 178–181. DOI: 10.1016/j.joca.2008.06.003.
29. Barskova V.G., Kudaeva F.M., Bozhieva L.A., Smirnov A.V., Volkov A.V., Nasonov E.L. Comparison of three imaging techniques in diagnosis of chondrocalcinosis of the knees in calcium pyrophosphate deposition disease. *Rheumatology.* 2013; 52 (6): 1090–1094. DOI: 10.1093/rheumatology/kes433.
30. Forien M., Combiere A., Gardette A., Palazzo E., Dieudé P., Ottaviani S. Comparison of ultrasonography and radiography of the wrist for diagnosis of calcium pyrophosphate deposition. *Joint Bone Spine.* 2018; 85 (5): 615–618. DOI: 10.1016/j.jbspin.2017.09.006.
31. Gruber M., Bodner G., Rath E., Supp G., Weber M., Schueller-Weidekamm C. Dual-energy computed tomography compared with ultrasound in the diagnosis of gout. *Rheumatology (Oxford).* 2014; 53 (1): 173–179. DOI: 10.1093/rheumatology/ket341.

32. Gaber W., Ezzat Y., Abd El Rahman S.F. Role of diagnostic ultrasonography in detecting gouty arthritis *The Egyptian Rheumatologist*. 2013; 35 (2): 71–75. DOI: 10.1016/j.ejr.2012.12.003.
33. Lai K.-L., Chiu Y.-M. Role of ultrasonography in diagnosing gouty arthritis. *Journal of Medical Ultrasound*. 2011; 19 (1): 7–13. DOI: 10.1016/j.jmu.2011.01.003.
34. Ruta S., Catay E., Marin J., Rosa J., García-Monaco R., Soriano E.R. Knee effusion: ultrasound as a useful tool for the detection of calcium pyrophosphate crystals. *Clin. Rheumatol*. 2016; 35 (4):1087–1091. DOI: 10.1007/s10067-015-3100-1.
35. Filippou G., Filippucci E., Tardella M., Bertoldi I., Di Carlo M., Adinolfi A., Grassi W., Frediani B. Extent and distribution of CPP deposits in patients affected by calcium pyrophosphate dihydrate deposition disease: an ultrasonographic study. *Ann. Rheum. Dis*. 2013; 72 (11): 1836–1839. DOI: 10.1136/annrheumdis-2012-202748.
36. Chiou H.-J., Chou Y.-H., Wu J.-J., Huang T.F., Ma H.L., Hsu C.C., Chang C.Y. The role of high-resolution ultrasonography in management of calcific tendonitis of the rotator cuff. *Ultrasound in Medicine and Biology*. *Ultrasound Med. Biol.* 2001; 27 (6):735–743. DOI: 10.1016/S0301-5629(01)00353-2.
37. Ellabban A.S., Kamel S.R., Omar H.A., El-Sherif A.M., Abdel-Magied R.A. Ultrasonographic diagnosis of articular chondrocalcinosis. *Rheumatol. Int*. 2012; 32 (12): 3863–3868. DOI: 10.1007/s00296-011-2320-1.
38. Wu Y., Chen K., Terkeltaub R. Systematic review and quality analysis of emerging diagnostic measures for calcium pyrophosphate crystal deposition disease. *RMD Open*. 2016; 2 (2): e000339. DOI: 10.1136/rmdopen-2016-000339.
39. Falsetti P., Frediani B., Acciai C., Baldi F., Filippou G., Prada E.P., Sabadini L., Marcolongo R. Ultrasonographic study of Achilles tendon and plantar fascia in chondrocalcinosis. *J. Rheumatol*. 2004; 31: 2242–2250.
40. Di Matteo A., Filippucci E., Salaffi F., Carotti M., Carbone D., Di Donato E., Grassi W. Diagnostic accuracy of musculoskeletal ultrasound and conventional radiography in the assessment of the wrist triangular fibrocartilage complex in patients with definite diagnosis of calcium pyrophosphate dihydrate deposition disease. *Clin. Exp. Rheumatol*. 2017; 35 (4): 647–652.
41. Adinolfi A., Picerno V., Di Sabatino V., Bertoldi I., Galeazzi M., Frediani B., Filippou G. Inquiry is fatal to certainty – is the ultrasonography double contour sign specific for uric acid-induced arthritis? *Arthritis Rheum*. 2013; 65 (7): 1952. DOI: 10.1002/art.37952.
42. DeJaco C. SP0018 The practical case: Is it really easy to distinguish gout from CPPD by ultrasound? Live case with patient. *Ann. Rheum. Dis*. 2013; 72: A5. DOI: 10.1136/annrheumdis-2013-eular.18.
43. Chowalloor P.V., Keen H.I. A systematic review of ultrasonography in gout and asymptomatic hyperuricaemia. *Ann. Rheum. Dis*. 2013; 72 (5): 638–645. DOI: 10.1136/annrheumdis-2012-202301.
44. Осипов Л.В. Технологии эластографии в ультразвуковой диагностике. Обзор. *Медицинский алфавит*. 2013; 3–4 (23): 5–21.
45. Alauraih A.M., O'Connor P., Tan A.L., Hensor E.M.A., Ladas A., Emery P., Wakefield R.J. Muscle shear wave elastography in idiopathic inflammatory myopathies: a case-control study with MRI correlation *Skeletal. Radiol*. 2019; 48 (8): 1209–1219. DOI: 10.1007/s00256-019-03175-3.
46. Zardi E.M., Franceschetti E., Giorgi C., Palumbo A., Franceschi F. Reliability of quantitative point shear-wave ultrasound elastography on vastus medialis muscle and quadriceps and patellar tendons. *Med. Ultrason*. 2019; 21 (1): 50–55. DOI: 10.11152/mu-1712.
47. Wadugodapitiya S., Sakamoto M., Sugita K., Morise Y., Tanaka M., Kobayashi K. Ultrasound elastographic assessment of the stiffness of the anteromedial knee joint capsule at varying knee angles. *Biomed. Mater. Eng*. 2019; 30 (2): 219–230. DOI:10.3233/BME-191046.
48. Drakonaki E.E., Allen G.M., Wilson D.J. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *Br. J. Radiol*. 2012; 85 (1019): 1435–1445. DOI: 10.1259/bjr/93042867.

Сведения об авторах

Миронов Михаил Петрович, ординатор, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Завадовская Вера Дмитриевна, д-р мед. наук, профессор, и.о. зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Зоркальцев Максим Александрович, д-р мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Куражов Алексей Петрович, д-р мед. наук, профессор, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Фомина Светлана Викторовна, канд. мед. наук, ассистент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Перова Татьяна Борисовна, канд. мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Шульга Ольга Сергеевна, канд. мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Жогица Татьяна Владимировна, канд. мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

(✉) **Миронов Михаил Петрович**, e-mail: michael-07@mail.ru.

Поступила в редакцию 30.12.2019

Подписана в печать 30.04.2020