

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0771-337>

Ультразвуковая диагностика болезни депонирования кристаллов пирофосфата кальция

Е.В. Полухина*

КГБОУ ДПО “Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения” Министерства здравоохранения Хабаровского края;
680009 Хабаровск, ул. Краснодарская, д. 9, Российская Федерация

Болезнь депонирования кристаллов пирофосфата кальция (БДПК) является одной из наиболее распространенных воспалительных артропатий. Характеризуется отложением депозитов пирофосфата кальция дигидрата в суставах и периартикулярных тканях. В повседневной клинической практике методы лучевой визуализации играют центральную роль в диагностике БДПК. В последние годы ультразвуковое исследование рассматривается в качестве ведущего метода раннего выявления депозитов кристаллов в различных анатомических зонах, мониторинга течения заболевания, навигации при аспирации. В статье представлен иллюстрированный обзор литературы, посвященный роли ультразвукового метода в диагностике БДПК. С позиций последних клинических рекомендаций даны представления об основных эхографических признаках БДПК (выявление депозитов пирофосфата кальция в фиброзном и гиалиновом хрящах, сухожилиях, суставной капсуле и внутрисуставном содергимом), позволяющих правильно интерпретировать выявленные изменения для своевременной диагностики заболевания, дифференциальной диагностики и оценки на фоне лечебных мероприятий.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование; кристаллическая артропатия; болезнь депонирования кристаллов пирофосфата кальция; хондрокальциноз

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Полухина Е.В. Ультразвуковая диагностика болезни депонирования кристаллов пирофосфата кальция. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2025; 31 (4): 93–104. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-337>

Поступила в редакцию: 28.05.2025.

Принята к печати: 23.09.2025.

Опубликована online: 28.11.2025.

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь депонирования кристаллов пирофосфата кальция (БДПК), или пирофосфатная артропатия, заболевание, которое характеризуется отложением депозитов пирофосфата кальция дигидрата (ПФК) в суставах и периартикулярных тканях [1, 2].

Являясь третьей по распространенности (после ревматоидного артрита и подагры) воспалительной артропатией, болезнь часто вовремя не диагностируется или расценивается неверно.

Полухина Елена Владимировна – доктор мед. наук, доцент, профессор кафедры лучевой и функциональной диагностики КГБОУ ДПО “Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения” Министерства здравоохранения Хабаровского края, Хабаровск. <https://orcid.org/0000-0002-8760-4880>

Контактная информация*: Полухина Елена Владимировна – e-mail: polukhina@inbox.ru

Заболевание ассоциировано с пожилым возрастом, остеоартритом, травмой (в том числе хирургическими вмешательствами), а также такими состояниями, как гипомагниемия, гиперпаратиреоз, подагра, гемохроматоз [3]. Это подчеркивает важность оценки возможного наличия указанных заболеваний при обследовании пациентов с подозрением на БДПК, особенно молодого возраста. Среди мужчин и женщин заболевание встречается с одинаковой частотой.

Выявление рентгенологических признаков хондрокальциноза, часто используемых как маркер БДПК, составляет от 7 до 13% среди людей пожилого возраста [1, 3], хотя истинная распространенность заболевания остается неясной, что, прежде всего, связано с разнообразием ее клинических манифестаций. Сходство некоторых случаев с подагрой породило термин “псевдоподагра”. Впоследствии были обнаружены другие проявления, многие из которых имитируют разные формы артрита, вследствие чего в классификации пирофосфатной артропатии появилось множество других “псевдосиндромов” (псевдоревматоидный артрит, псевдоостеоартрит, псевдоанкилозирующий спондилит и т.д.) [2].

В последние годы интерес к БДПК существенно возрос, что может быть связано с ростом заболеваемости, снижением возраста дебюта заболевания, а также появлением информативных методов диагностики.

В 2011 г. группа экспертов Европейской антиревматологической лиги выпустила рекомендации по терминологии и диагностике БДПК [2]. Было достигнуто соглашение, что этот термин является зонтичным, включающим бессимптомное депонирование кристаллов ПФК, остеоартрит с депонированием кристаллов ПФК (самая частая клиническая форма, наблюдаемая примерно у 50% больных), острый воспалительный моно- или олигоартрит (псевдоподагра), хронический олиго- или полиартрит с кристаллами ПФК.

БДПК является системным заболеванием, которое потенциально может поражать любой сустав и околосуставные структуры, где присутствуют хондроциты [4]. Однако наиболее часто в процесс вовлекаются коленный и лучезапястный суставы. Могут также поражаться локтевые, плечевые, пястно-фаланговые, тазобедренные суставы.

В отличие от подагры, практически никогда не вовлекается I плюснефаланговый сустав [1, 2].

Выявление кристаллов ПФК в синовиальной жидкости или в биопсийной ткани методом поляризационной микроскопии считается референтным стандартом диагностики болезни [1]. Однако метод не всегда доступен, имеет высокую специфичность, но в то же время и высокую частоту ложноотрицательных результатов [5]. В повседневной клинической практике лучевые методы исследования играют центральную роль в диагностике БДПК. В 2023 г. Международной мультидисциплинарной рабочей группой, включающей ревматологов и мышечно-скелетных радиологов, были разработаны и опубликованы основанные на консенсусе основные специфические характеристики БДПК по данным методов визуализации (традиционной рентгенографии, ультразвукового исследования (УЗИ), традиционной и двухэнергетической компьютерной томографии, а также магнитно-резонансной томографии) [6]. Хондрокальциноз является одним из основных признаков БДПК при использовании методов визуализации.

Возможности ультразвукового метода в диагностике депонирования кристаллов пирофосфата кальция

На сегодняшний день УЗИ играет ведущую роль в оценке наличия депозитов ПФК в суставах и периартикулярных тканях [2, 6–8]. Впервые ультразвуковая картина хондрокальциноза при пирофосфатной артропатии была описана в 1995 г. [9]. В 2006 г. W. Grassi и соавт. впервые сделали подробное описание эхографической картины типичных проявлений БДПК в виде депозитов кристаллов в гиалиновом и фиброзном хрящах, а также сухожилиях [10]. Начиная с этого времени было проведено множество работ, подтверждающих высокую точность ультразвукового метода в диагностике данной кристаллической артропатии. Указывается, что эхография имеет очень высокую информативность в диагностике БДПК, обладая существенно более высокой чувствительностью и лишь несколько более низкой специфичностью, чем традиционная рентгенография, в выявлении кристаллов ПФК при использова-

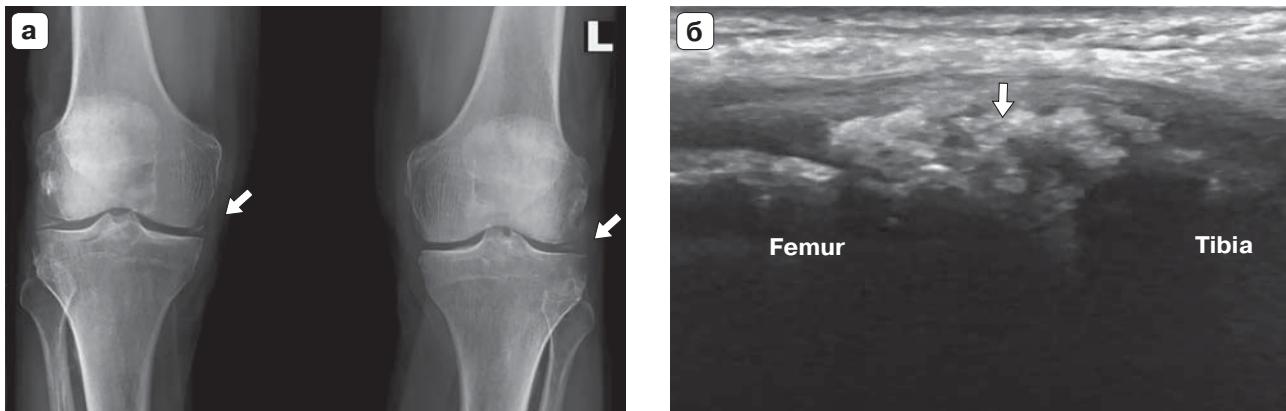


Рис. 1. Болезнь депонирования кристаллов пирофосфата кальция. **а** – рентгенограмма коленных суставов. Признаки хондрокальциноза ткани менисков (стрелки); **б** – эхограмма. Множественные гиперэхогенные депозиты в структуре медиального мениска правого коленного сустава (стрелка).

Fig. 1. Calcium pyrophosphate deposition disease. **a** – X-ray image of the knee joints. Signs of chondrocalcinosis of the meniscus (arrows); **b** – ultrasound image. Multiple hyperechoic deposits in the structure of the medial meniscus of the right knee joint (arrow).

нии в качестве референтного метода поляризационной микроскопии [7]. Важность УЗИ была подчеркнута в опубликованных в 2023 г. Американским коллежем ревматологии и Европейской антиревматологической лигой классификационных критериях диагностики БДПК, согласно которым присутствие признаков данного заболевания по данным лучевых методов визуализации (в том числе УЗИ) наряду с рецидивирующими эпизодами острого артрита имеет наибольший вес среди балльных критерии и является центральными составляющими в установке диагноза БДПК, когда отсутствует лабораторное подтверждение [11].

В связи с диагностическим потенциалом УЗИ, а также необходимостью стандартизации метода целевой группой по оценке результатов клинических испытаний в ревматологии ОМЕРАСТ были разработаны и утверждены ультразвуковые признаки, характерные для БДПК [12]. Они включили характеристики депозитов ПФК в различных анатомических структурах: фиброзном хряще, гиалиновом хряще, сухожилиях и синовиальной жидкости. В каждой из этих структур были описаны форма, эхогенность, локализация и смещение при динамическом исследовании. В последнем консенсусе 2023 г. в диагностические критерии также были включены характеристики депозитов ПФК в капсulo-связочном комплексе и синовиальной оболочке [6].

Депозиты пирофосфата кальция в фиброзном хряще

Депозиты ПФК в фиброзном хряще определяются в виде гиперэхогенных (схожих с эхогенностью кортикального слоя кости) включений различного размера и формы, локализующихся внутри фиброзно-хрящевых структур. Депозиты в типичных случаях не формируют дистального затухания ультразвука, при динамическом исследовании остаются фиксированными и движутся вместе с хрящом [12]. Характерно вовлечение менисков коленного сустава, суставного диска треугольного фиброзно-хрящевого комплекса лучезапястного сустава, лонного сочленения, хрящевой губы тазобедренного сустава, суставного диска акромиально-ключичного сустава [12–14].

Мениски должны быть, вероятно, первой зоной, оцененной на наличие депозитов ПФК, так как они вовлекаются наиболее часто [14–16] (рис. 1). Так, по данным одной из недавних работ, при оценке преимущественного вовлечения периферических суставов при БДПК встречаемость депозитов в структуре менисков коленного сустава по данным УЗИ была отмечена в 90% случаев [14].

Кисть и особенно треугольный фиброзно-хрящевой комплекс (ТФХК) также часто вовлекаются в патологический процесс [14, 17]. Основным компонентом данного комплекса является фиброзно-хрящевой

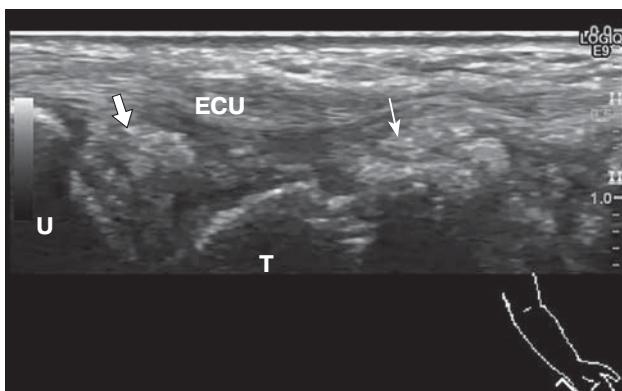


Рис. 2. Депозиты ПФК в проксимальном (толстая стрелка) и дистальном (тонкая стрелка) отделах ТФХК лучезапястного сустава. Отсутствие депозитов в центральной части ТФХК, где располагается гомолог мениска. Продольный срез. U – локтевая кость, Т – трехгранная кость, ECU – локтевой разгибатель запястья.

Fig. 2. Calcium pyrophosphate deposits in the proximal (thick arrow) and distal (thin arrow) portions of the triangular fibrocartilaginous complex of the wrist joint. There is absence of deposits in the central part of the TFCC, where the meniscus homologue is located. Longitudinal plane. U – ulna, T – triquetrum, ECU – extensor carpi ulnaris tendon.

диск, следующий от дистальной части лучевой кости к шиловидному отростку локтевой кости. Эта структура является основной зоной отложения депозитов. Сканирование проводится в продольных и поперечных

срезах от ладонной до тыльной поверхности кисти. Динамическое исследование с положением кисти в позиции отведения и приведения может быть полезным в дифференциации сухожильно-связочных структур и депозитов кристаллов.

По данным Е. Cipolletta и соавт., вовлечение ТФХК лучезапястного сустава при БДПК было отмечено в 68,2% [17]. В типичных случаях кальцификация располагается преимущественно в проксимальном и дистальном отделах ТФХК (проксимально – депозиты в структуре фиброзно-хрящевого диска, дистально – кальцификация в связочном комплексе) (рис. 2). Не характерно изолированное отложение депозитов в центральной порции фиброзно-хрящевого комплекса, где располагается гомолог мениска.

Еще одна зона в кисти, где нередко могут быть выявлены депозиты ПФК, – фиброзно-костный туннель сухожилия лучевого сгибателя запястья [17]. Предполагается, что эта зона также имеет фиброзно-хрящевой компонент, что может быть основой для отложений депозитов.

Депозиты ПФК нередко определяются в хрящевой губе тазобедренного сустава (рис. 3а). По данным одной из работ, вовлечение переднего отдела хрящевой губы тазобедренного сустава отмечено у 59,3% пациентов с БДПК [13]. Также характерно отложение депозитов ПФК в суставном диске акромиально-ключичного сустава (рис. 3б).

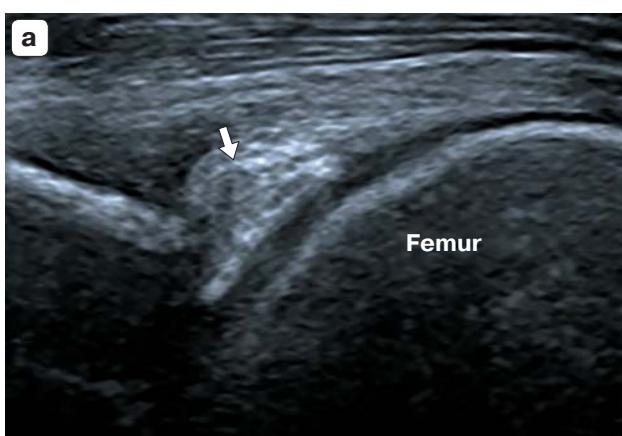


Рис. 3. Депозиты ПФК в фиброзном хряще (стрелки). **а** – хондрокальциноз суставной губы тазобедренного сустава; **б** – хондрокальциноз суставного диска акромиально-ключичного сустава. Acr – акромиальный отросток, Cl – ключица.

Fig. 3. CPP deposition in fibrocartilage (arrows). **а** – chondrocalcinosis of the articular labrum of the hip joint; **б** – chondrocalcinosis of the articular disc of the acromioclavicular joint; Acr – acromial process, Cl – clavicle.



Депозиты пирофосфата кальция в гиалиновом хряще

Депозиты ПФК в гиалиновом хряще выглядят в виде гиперэхогенных включений различного размера и формы без эффекта дистального затухания, располагающихся в толще гиалинового хряща. При динамическом исследовании (движении в суставе и компрессии датчиком) депозиты остаются фиксированными и перемещаются вместе с гиалиновым хрящом [12].

Коленный сустав наиболее часто вовлекается в патологический процесс [14–16]. Доступной зоной визуализации гиалинового хряща являются пателлофеморальная опора, оцениваемая из продольного и поперечного супрапателлярного доступов при максимальном сгибании в суставе, и гиалиновый хрящ задней поверхности латерального и медиального мыщелков бедренной кости, оцениваемый из продольного заднего доступа при разгибании конечности. Использование меньшей яркости изображения и более низкого динамического диапазона позволяет улучшить выявляемость депозитов на фоне окружающих тканей [18] (рис. 4).

По данным одного из исследований, общая диагностическая точность УЗИ коленных суставов в диагностике БДПК соста-

вила 75% [15]. Наиболее высокая чувствительность отмечена для медиального мениска (87%), наиболее высокая специфичность – для гиалинового хряща медиального мыщелка бедренной кости (92%). Сочетанная оценка структур коленного сустава дает наилучшую комбинацию чувствительности и специфичности, позволяя улучшить диагностику кристаллической артропатии.

В работах последних лет отмечена высокая встречаемость вовлечения при БДПК пястно-фаланговых суставов (особенно II и III). Так, в одном из исследований депозиты ПФК в зоне пястно-фаланговых суставов были выявлены у 40% пациентов с пирофосфатной артропатией [19]. Также нередко отмечается вовлечение в патологический процесс гиалинового хряща мыщелков плечевой кости (рис. 5).

Чаще хондрокальциноз гиалинового хряща определяется в виде точечных гиперэхогенных включений, однако если депозиты ПФК плотно аккумулированы, то они могут выглядеть как непрерывная линия, параллельная суставной поверхности, локализующаяся в толще хряща (“симптом сэндвича”) (рис. 6).

Депозиты ПФК необходимо дифференцировать от депозитов кристаллов моно-

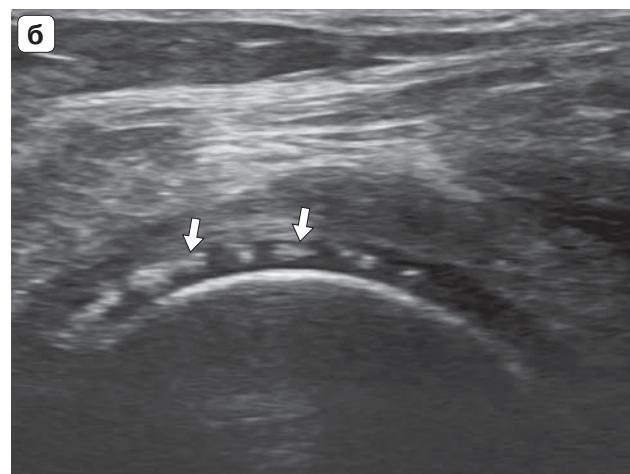
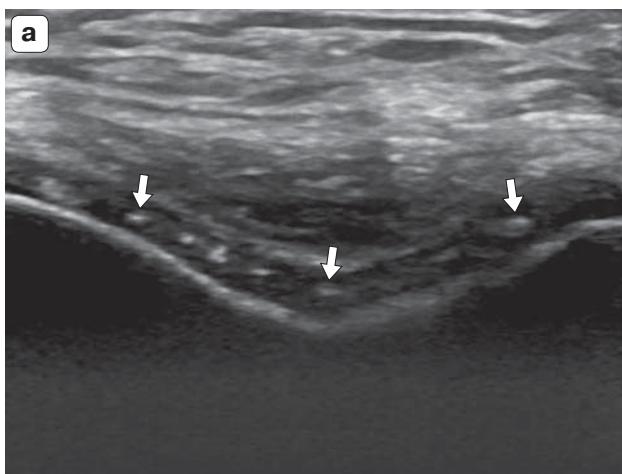


Рис. 4. Депозиты ПФК в гиалиновом хряще мыщелков бедренной кости (стрелки). а – поперечный супрапателлярный доступ; б – продольный задний доступ на уровне медиального мыщелка бедренной кости. Использование меньшей яркости изображения и более низкого динамического диапазона позволяет улучшить выявляемость депозитов на фоне окружающих тканей.

Fig. 4. CPP deposition in the hyaline cartilage of the femoral condyles (arrows). а – transverse suprapatellar plane; б – longitudinal posterior plane at the level of the medial condyle of the femur. The use of lower image brightness and a lower dynamic range allows for improved detection of deposits against the background of surrounding tissues.

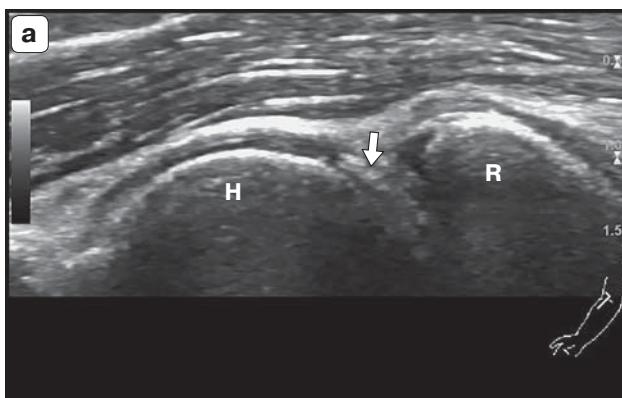


Рис. 5. Локтевой сустав. Депозиты ПФК в толще гиалинового хряща мыщелков плечевой кости (стрелки). **а** – переднелатеральный продольный срез; **б** – задний поперечный срез. **Н** – плечевая кость, **R** – лучевая кость.

Fig. 5. Elbow joint. CPP deposition within the hyaline cartilage of the humeral condyles (arrows). **a** – anterolateral longitudinal plane; **б** – posterior transverse plane. **H** – humerus, **R** – radius.

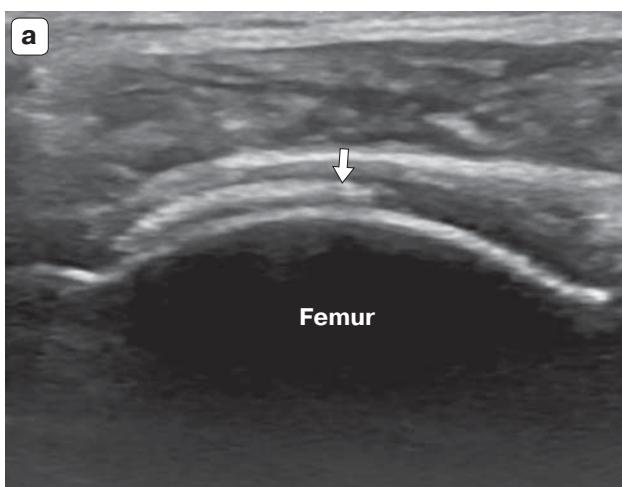


Рис. 6. Хондрокальциноз гиалинового хряща мыщелков бедра (а) и головки плечевой кости (б). Выраженное отложение депозитов ПФК в толще гиалинового хряща, формирующее гиперэхогенную линию (стрелки).

Fig. 6. Chondrocalcinosis of the hyaline cartilage of the femoral condyles (a) and humeral head (b). Extensive CPP deposition within the cartilage forming a hyperechoic line (arrows).

урата натрия при подагре. Ключевым моментом дифференциальной диагностики кристаллических артропатий является анатомическая локализация депозитов. Хондрокальциноз при БДПК проявляется наличием депозитов кристаллов преимущественно в толще гиалинового хряща, в то время как депозиты кристаллов моноурата натрия локализуются непосредственно на его поверхности [20]. Расположение депозитов преимущественно связано с местом их формирования. Кристаллы моноурата натрия образуются в синовиальной

жидкости и осаждаются на поверхности гиалинового хряща. Образование кристаллов ПФК начинается в внеклеточном матриксе хряща, впоследствии кристаллы выделяются в синовиальное пространство, а затем внедряются в синовиальную оболочку [21].

Депозиты пирофосфата кальция в капсулно-связочном комплексе

В последнем консенсусе 2023 г. в классификационные критерии также были включены характеристики депозитов ПФК в кап-

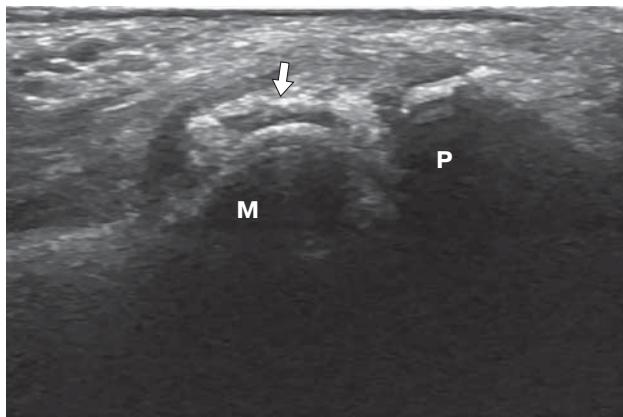


Рис. 7. Депозиты ПФК в капсulo-связочном комплексе 2-го пястно-фалангового сустава (стрелка) в виде гиперэхогенной полосы без акустического затухания ультразвука. Тыльный доступ, продольный срез. М – головка пястной кости, Р – проксимальная фаланга.

Fig. 7. CPP deposition in the capsule-ligament complex of the 2nd metacarpophalangeal joint (arrow) in the form of a hyperechoic band without ultrasound attenuation. Dorsal longitudinal plane. M – head of the metacarpal bone, P – proximal phalanx.

сule of the joint in the form of hyperechoic inclusions of different size and shape, which do not form distal attenuation of the ultrasound signal [6] (Fig. 7). During dynamic examination, the deposits remain fixed in the capsule and move together with it.

На кисти типично вовлечение проксимального ряда костей запястья в зонах ладьевидно-полулунной и полулунно-трехгранной связок (рис. 8). Указывалось, что включение в протокол исследования связочного аппарата кисти позволяет повысить точность диагностики БДПК [17].

При БДПК депозиты, располагающиеся в капсulo-связочном комплексе непосредственно над гиалиновым хрящом, нередко создают картину псевдодвойного контура [22]. Псевдодвойной контур обычно толще и может распространяться за границы гиалинового хряща, следуя за капсулой и связками. Основным же различием между двойным и псевдодвойным контуром является эхографическая картина при динамическом исследовании во время движения в суставе. При подагре поверхностный гиперэхогенный слой движется synchronously with the subchondral bone, as the sodium urate crystals are located on the surface of the hyaline cartilage. In contrast, the hyperechoic inclusions in the joint cavity, capsule, and ligaments move independently of the hyaline cartilage in the opposite direction [22, 23].

В небольшом количестве случаев у пациентов с БДПК признак “двойного контура” может быть неотличим от такового при подагре, в том числе при исследовании в динамическом режиме. Это может быть связано

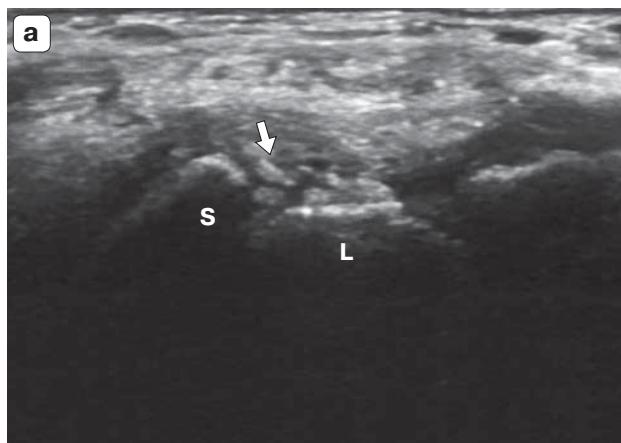
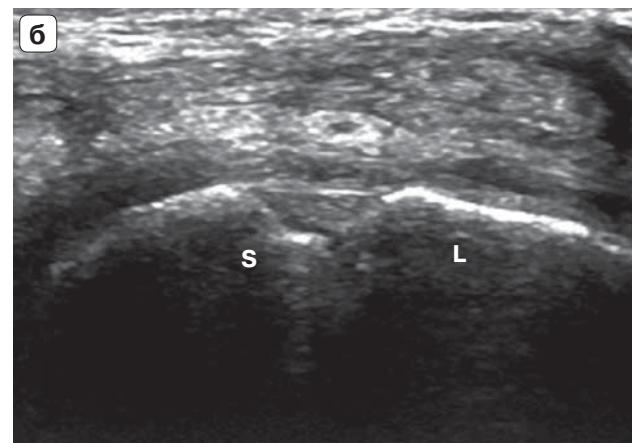


Рис. 8. Кисть. а – отложение кристаллов ПФК в зоне ладьевидно-полулунной связки (стрелка). Тыльный доступ, поперечный срез; б – норма. S – ладьевидная кость, L – полулунная кость.

Fig. 8. Wrist. а – deposition of CPP crystals in the area of the scapho-lunate ligament (arrow). Dorsal transverse plane; б – normal ultrasound image. S – scaphoid, L – lunate.



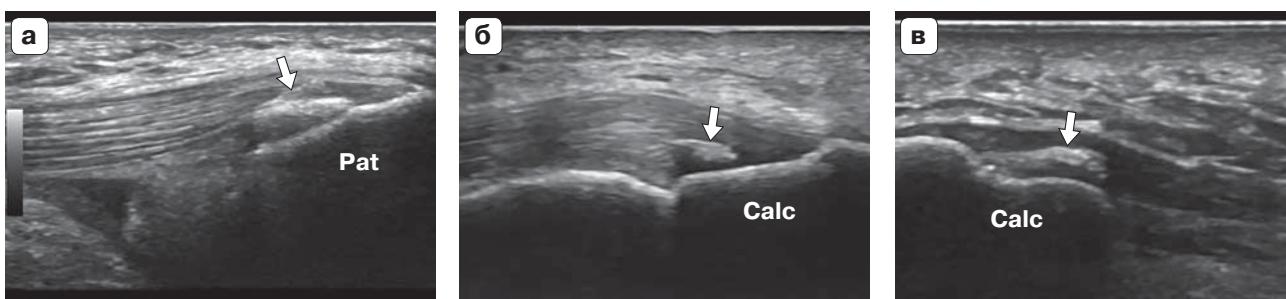


Рис. 9. Внутрисухожильные депозиты ПФК (стрелки). **а** – сухожилие четырехглавой мышцы бедра; **б** – ахиллово сухожилие; **в** – пантарная фасция. Депозиты располагаются линейно вдоль длинной оси волокон сухожилия, не формируют дистального затухания ультразвука. Pat – надколенник, Calc – пятончая кость.

Fig. 9. Intratendinous calcium pyrophosphate deposits (arrows). **a** – quadriceps tendon; **b** – Achilles tendon; **c** – plantar fascia. The deposits are located linearly along the long axis of the tendon fibers and do not form distal ultrasound attenuation. Pat – patella, Calc – calcaneus.

с тем, что у пациентов в некоторых случаях может иметь место сочетание подагры и пирофосфатной артропатии. Также причиной может быть своеобразная локализация внутрихрящевых кристаллов ПФК на поверхности гиалинового хряща, а не в его среднем слое (что может, например, отмечаться при выраженнном истончении хряща) [20].

Депозиты пирофосфата кальция в сухожилиях

Внутрисухожильные депозиты при БДПК преимущественно определяются в виде линейных (параллельных фибрillлярной структуре сухожилия) гиперэхогенных включений, не являющихся продолжением костной поверхности. В большинстве случаев депозиты не формируют дистальной акустической тени, не подвержены эффекту анизотропии. При динамическом исследовании смещаются вместе с сухожилием [12].

Типично вовлечение сухожилия четырехглавой мышцы бедра, связки надколенника, сухожилия трехглавой мышцы плеча, ахиллова сухожилия, пантарной фасции (рис. 9). Важным отличием от кристаллов основного фосфата кальция при кальцифицирующем тендините является отсутствие в типичных случаях генерирования кристаллами ПФК акустических теней, что связывают с особенностями трехмерной структуры кристаллов [24]. Выявление депозитов в ткани сухожилий имеет невысокую чувствительность (57%), но очень высокую специфичность (99%), что, вероятно, связано с более поздним вовлечением

сухожильных структур в патологический процесс при обычном ходе течения пирофосфатной артропатии [7].

Депозиты пирофосфата кальция в синовиальной жидкости и синовиальной оболочке

Депозиты ПФК в синовиальной жидкости выглядят в виде гиперэхогенных включений различного размера, не дающих дистального акустического затухания ультразвука, подвижных при динамическом исследовании (рис. 10). Данный признак не является специфичным и может встречаться при различной патологии (подагре, остеоартрите, септическом артите). В последнем консенсусе 2023 г. было указано, что депозиты в синовиальной жидкости являются признаком, не позволяющим провести дифференциацию БДПК от других форм артритов и даже рекомендации исключить его из классификационных критериев [6].

Крупные внутрисуставные скопления кристаллов ПФК могут иметь схожее изображение с тофусами при подагре (рис. 11).

Депозиты могут быть выявлены также в синовиальной ткани в виде гиперэхогенных включений различного размера и формы. В типичных случаях не формируют дистального затухания ультразвукового сигнала. Данный признак также требует корреляции с другими ультразвуковыми находками. При остром и хроническом артите с кристаллами ПФК, кроме специфических признаков наличия депозитов кристаллов, могут быть выявлены такие

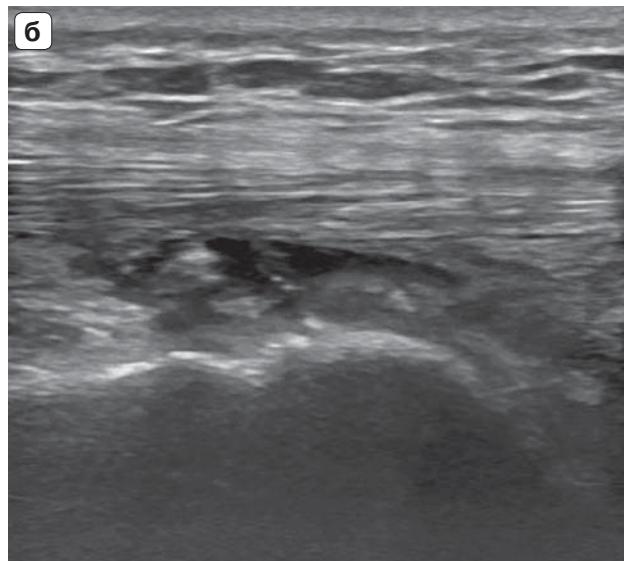
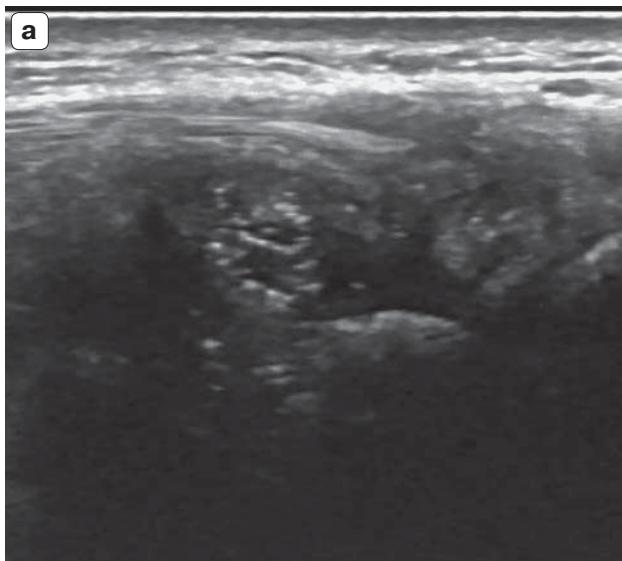


Рис. 10. Болезнь депонирования кристаллов пирофосфата кальция. Гиперэхогенные депозиты ПФК в синовиальной жидкости. **а** – лучезапястный сустав. Тыльный доступ, продольный срез; **б** – коленный сустав. Супрапателлярный доступ, продольный срез.

Fig. 10. Calcium pyrophosphate deposition disease. Hyperechoic CPP deposits in the synovial fluid. **a** – wrist joint. Dorsal longitudinal plane; **б** – knee joint. Suprapatellar longitudinal plane.

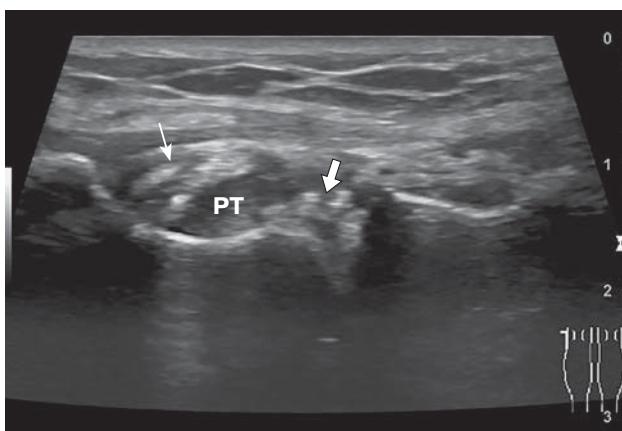


Рис. 11. Крупные гиперэхогенные депозиты кристаллов (тонкая стрелка) вокруг сухожилия подколенной мышцы (PT). Также присутствует хондрокальциноз ткани мениска (толстая стрелка). Медиальный доступ, продольный срез.

Fig. 11. Large hyperechoic CPP deposition (thin arrow) around the popliteal tendon (PT). Chondrocalcinosis of the meniscal tissue is also present (thick arrow). Medial longitudinal plane.

неспецифические признаки воспаления, как выпот в полости сустава, синовиальная пролиферация, повышение васкуляризации (рис. 12).

Согласно заключению целевой группы OMERACT, а также результатам проведенных метаанализов, коленные суставы и лучезапястные суставы могут рассматриваться как таргетные для выявления депозитов ПФК по данным методов визуализации [14, 25]. В коленных суставах оцениваемыми структурами являются гиалиновый хрящ мышцелков бедренной кости и мениски, в лучезапястных суставах – трехгранный фиброзно-хрящевой комплекс. Для других суставов и структур, включая сухожилия, связки, синовиальную жидкость, межисследовательская воспроизводимость была более низкой. Ультразвуковая оценка указанных суставов является наиболее важной, однако исследование других суставов (пястно-фаланговых, плечевых, локтевых) может также быть необходимым при определенных обстоятельствах (например, когда какой-либо из этих суставов клинически вовлечен на момент исследования или в анамнезе).

С целью стандартизации клинической оценки течения БДПК целевой группой OMERACT были определены критерии для

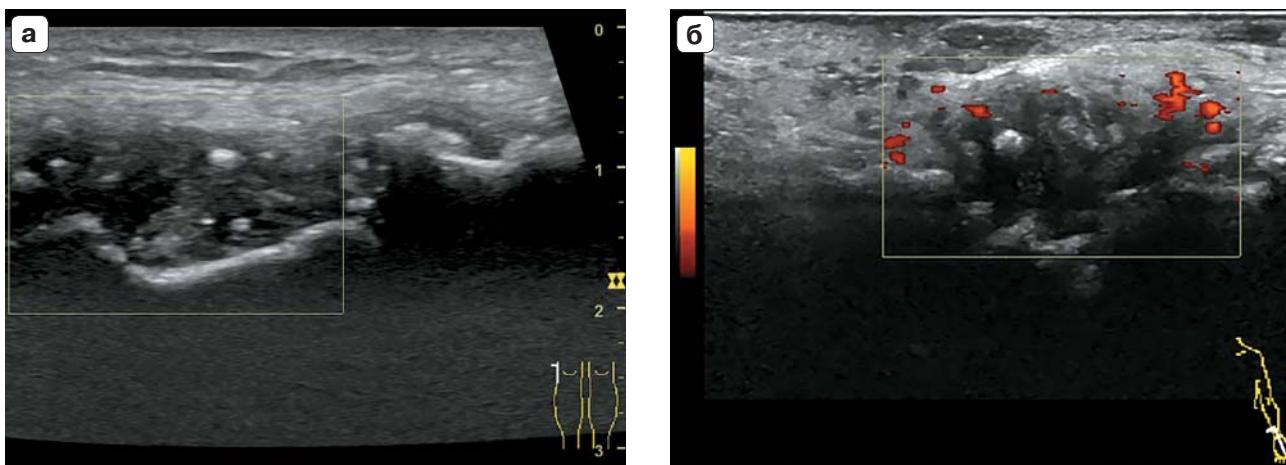


Рис. 12. Болезнь депонирования кристаллов пирофосфата кальция. Депозиты ПФК в синовиальной оболочке. **а** – коленный сустав. Заднемедиальный доступ, продольный срез; **б** – лучезапястный сустав. Тыльный доступ, продольный срез. В утолщенной синовиальной оболочке определяются гиперэхогенные депозиты кристаллов, не формирующие эффекта дистального затухания ультразвука. Васкуляризация синовиальной ткани повышена.

Fig. 12. Calcium pyrophosphate crystal deposition disease. CPP deposits in the synovial membrane. **a** – knee joint. Posteromedial longitudinal plane; **b** – wrist joint. Dorsal longitudinal plane. Hyperechoic crystal deposits are seen in the thickened synovial membrane, which do not form the effect of distal ultrasound attenuation. Vascularization of the synovial tissue is increased.

полуколичественной балльной оценки выраженности накопления депозитов ПФК в суставных структурах с использованием ультразвукового метода [25]. Система оценки была разработана для определенных ОМЕРАСТ специфических критериев БДПК: наличие депозитов ПФК в гиалиновом хряще мыщелков бедра, менисках и ТФХК лучезапястного сустава. Четыре степени (0–3): 0 – отсутствуют признаки, позволяющие предположить наличие БДПК; 1 – менее трех точечных гиперэхогенных включений или один небольшой депозит; 2 – более трех изолированных или сливающихся включений/депозитов, занимающих менее 50% исследуемой структуры; 3 – депозиты, занимающие более 50% исследуемой структуры в зоне интереса. Оценка депозитов должна проводиться в одном ультразвуковом срезе, не отрывая датчик, в максимальном объеме исследуемой структуры. При мультипланарной оценке как минимум в двух взаимоперпендикулярных срезах выбирается срез с наибольшим количеством депозитов. Оценивается суммарное количество баллов.

На сегодняшний день УЗИ – единственная технология, позволяющая полуколичественно оценить накопление кристаллов

ПФК с использованием оценочной системы, разработанной ОМЕРАСТ. Данная система оценки показала очень высокую внутри- и межисследовательскую воспроизводимость как в статичных изображениях, так и в исследовании на пациентах, что позволяет использовать ее как для первоначальной оценки степени выраженности суставных изменений при БДПК, так и при дальнейшем мониторинге.

ВЫВОДЫ

1. Ультразвуковое исследование рассматривается как информативный и безопасный метод лучевой диагностики БДПК для раннего выявления депозитов кристаллов в различных анатомических зонах, мониторинга течения заболевания, навигации при аспирации.

2. Ключевым моментом дифференциальной диагностики кристаллических артропатий является анатомическая локализация депозитов.

3. Ультразвуковые признаки, типичные для БДПК, – характерные депозиты кристаллов в фиброзном и гиалиновом хрящах, сухожилиях, суставной капсуле и внутрисуставном содержимом.

4. Зоны наибольшей диагностической значимости для БДПК – коленный сустав (гиалиновый хрящ мыщелков бедренной кости и мениски) и лучезапястный сустав (трехгранный фиброзно-хрящевой комплекс).

Участие авторов

Полухина Е.В. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание работы.

Authors' participation

Polukhina E.V. – concept and design of the study, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, preparation and creation of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

- Rosenthal A.K., Ryan LM. Calcium Pyrophosphate Deposition Disease. *N. Engl. J. Med.* 2016; 374 (26): 2575–2584. <http://doi.org/10.1056/NEJMra1511117>
- Zhang W., Doherty M., Bardin T. et al. European League Against Rheumatism recommendations for calcium pyrophosphate deposition. Part I: terminology and diagnosis. *Ann. Rheum. Dis.* 2011; 70 (4): 563–570. <http://doi.org/10.1136/ard.2010.139105>
- Abhishek A. Calcium pyrophosphate deposition disease: a review of epidemiologic findings. *Curr. Opin. Rheumatol.* 2016; 28 (2): 133–139. <http://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000246>
- Beutler A., Rothfuss S., Clayburne G. et al. Calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition in synovium. Relationship to collagen fibers and chondrometaplasia. *Arthritis Rheum.* 1993; 36 (5): 704–715. <http://doi.org/10.1002/art.1780360520>
- Sirotti S., Gutierrez M., Pineda C. et al. Accuracy of synovial fluid analysis compared to histology for the identification of calcium pyrophosphate crystals: an ancillary study of the OMERACT US Working Group – CPPD subgroup. *Reumatismo.* 2021; 73 (2): 106–110. <http://doi.org/10.4081/reumatismo.2021.1403>
- Tedeschi S.K., Becce F., Pascart T. et al. Imaging Features of Calcium Pyrophosphate Deposition Disease: Consensus Definitions From an International Multidisciplinary Working Group. *Arthritis Care Res. (Hoboken).* 2023; 75 (4): 825–834. <http://doi.org/10.1002/acr.24898>
- Cipolletta E., Filippou G., Scirè C.A. et al. The diagnostic value of conventional radiography and musculoskeletal ultrasonography in calcium pyrophosphate deposition disease: a systematic literature review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2021; 29 (5): 619–632. <http://doi.org/10.1016/j.joca.2021.01.007>
- Filippou G., Sirotti S. How can ultrasonography help in the management of CPPD? From diagnosis to clinical subset identification. *Curr. Opin. Rheumatol.* 2023; 35 (3): 185–193. <http://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000939>
- Coari G., Iagnocco A., Zoppini A. Chondrocalcinosis: sonographic study of the knee. *Clin. Rheumatol.* 1995; 14 (5): 511–514. <http://doi.org/10.1007/BF02208146>
- Grassi W., Meenagh G., Pascual E., Filippucci E. “Crystal clear”-sonographic assessment of gout and calcium pyrophosphate deposition disease. *Semin. Arthritis Rheum.* 2006; 36 (3): 197–202. <http://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2006.08.001>
- Abhishek A., Tedeschi S.K., Pascart T. et al. The 2023 ACR/EULAR Classification Criteria for Calcium Pyrophosphate Deposition Disease. *Arthritis Rheumatol.* 2023; 75 (10): 1703–1713. <http://doi.org/10.1002/art.42619>
- Filippou G., Scirè C.A., Damjanov N. et al. Definition and Reliability Assessment of Elementary Ultrasonographic Findings in Calcium Pyrophosphate Deposition Disease: A Study by the OMERACT Calcium Pyrophosphate Deposition Disease Ultrasound Subtask Force. *J. Rheumatol.* 2017; 44 (11): 1744–1749. <http://doi.org/10.3899/jrheum.161057>
- Cipolletta E., Moscioni E., Sirotti S. et al. Diagnosis of calcium pyrophosphate crystal deposition disease by ultrasonography: how many and which sites should be scanned? *Rheumatology (Oxford).* 2024; 1; 63 (8): 2205–2212. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/kead565>
- Adinolfi A., Sirotti S., Sakellariou G. et al. Which are the most frequently involved peripheral joints in calcium pyrophosphate crystal deposition at imaging? A systematic literature review and meta-analysis by the OMERACT ultrasound – CPPD subgroup. *Front. Med. (Lausanne).* 2023; 9; 10: 1131362. <http://doi.org/10.3389/fmed.2023.1131362>
- Filippou G., Scaru A., Adinolfi A. et al. Criterion validity of ultrasound in the identification of calcium pyrophosphate crystal deposits at the knee: an OMERACT ultrasound study. *Ann. Rheum. Dis.* 2021; 80 (2): 261–267. <http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2020-217998>
- Lee K.A., Lee S.H., Kim H.R. Diagnostic value of ultrasound in calcium pyrophosphate deposition disease of the knee joint. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019; 27 (5): 781–787. <http://doi.org/10.1016/j.joca.2018.11.013>
- Cipolletta E., Smerilli G., Mashadi Mirza R. et al. Sonographic assessment of calcium pyrophosphate deposition disease at wrist. A focus on the dorsal scapho-lunate ligament. *Joint Bone Spine.* 2020; 87 (6): 611–617. <http://doi.org/10.1016/j.jbspin.2020.04.012>
- Filippou G., Sirotti S., Cipolletta E., Filippucci E. Optimizing the Use of Ultrasound in Calcium Pyrophosphate Deposition (CPPD): A Review from the Ground Up. *Gout Urate Cryst. Depos. Dis.* 2024; 2: 17–33. <https://doi.org/10.3390/gucdd2010002>

19. Cipolletta E., Di Matteo A., Smerilli G. et al. Ultrasound findings of calcium pyrophosphate deposition disease at metacarpophalangeal joints. *Rheumatology (Oxford)*. 2022; 61 (10): 3997–4005. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keac063>
20. Filippucci E., Riveros M.G., Georgescu D. et al. Hyaline cartilage involvement in patients with gout and calcium pyrophosphate deposition disease. An ultrasound study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2009; 17 (2): 178–181. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2008.06.003>
21. Kenneth P.H. Articular Pathology of Gout, Calcium Pyrophosphate Dihydrate and Basic Calcium Phosphate Crystal Deposition Arthropathies. Editor(s): Robert Terkeltaub, *Gout and Other Crystal Arthropathies*. 2012; 2–19. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2864-4.10001-6>
22. Filippou G., Miguel-Pérez M., Coronel L. et al. EULAR Study Group on Anatomy for the Image. The ultrasonographic pseudo-double contour sign in calcium pyrophosphate deposition disease: an anatomic explanation and how to distinguish it from gout. *Arthritis Rheumatol*. 2023; 75 (4): 639–640. <https://doi.org/10.1002/art.42397>
23. Cipolletta E., Abhishek A., Di Matteo A. et al. Dynamic assessment of the double contour sign by ultrasonography helps to distinguish between gout and calcium pyrophosphate deposition disease. *RMD Open*. 2023; 9 (1): e002940. <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2022-002940>
24. Filippou G., Pacini G., Sirotti S. et al. Comparison of ultrasound attenuation by calcium pyrophosphate, hydroxyapatite and monosodium urate crystals: a proof-of-concept study. *Ann. Rheum. Dis.* 2022; 81 (8): 1199–1201. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2022-222316>
25. Sirotti S., Terslev L., Filippucci E. et al.; OMERACT Ultrasound working group-CPPD subgroup. Development and validation of an OMERACT ultrasound scoring system for the extent of calcium pyrophosphate crystal deposition at the joint level and patient level. *Lancet Rheumatol*. 2023; 5 (8): e474–e482. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00136-4](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00136-4)

Ultrasound diagnosis of calcium pyrophosphate deposition disease

E.V. Polukhina*

Postgraduate Institute for Public Health Workers,
9, Krasnodarskaya str., Khabarovsk 680009, Russian Federation

Elena V. Polukhina – MD, Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Professor of Division of Radiology and Functional Diagnostics, Postgraduate Institute for Public Health Workers, Khabarovsk.
<https://orcid.org/0000-0002-8760-4880>

Correspondence* to Dr. Elena V. Polukhina – e-mail: polukhina@inbox.ru

Calcium pyrophosphate deposition disease (CPPD) is one of the most common inflammatory arthropathies. It is characterized by the deposition of calcium pyrophosphate dihydrate (CPPD) crystals within joints and periarticular tissues. In routine clinical practice, imaging plays a central role in the diagnosis of CPPD. In recent years, ultrasound has emerged as a leading modality for early detection of crystal deposits across various anatomical regions, for monitoring disease progression, and for guiding aspiration procedures. The article presents a pictorial literature review highlighting the role of ultrasound in the diagnosis of calcium pyrophosphate deposition disease. Based on current clinical recommendations, the main ultrasound features of CPPD are described (detection of calcium pyrophosphate deposits in fibrous and hyaline cartilage, tendons, joint capsule, and intra-articular contents) allowing for correct interpretation of findings for timely diagnosis, differential diagnosis, and dynamical assessment during therapy.

Keywords: ultrasound; crystal-related arthropathies; calcium pyrophosphate deposition disease; chondrocalcinosis

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Polukhina E.V. Ultrasound diagnosis of calcium pyrophosphate deposition disease. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2025; 31 (4): 93–104. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-337> (In Russian)

Received: 28.05.2025.

Accepted for publication: 23.09.2025.

Published online: 28.11.2025.