

УДК 616-073.43+620.179.16+616.72-002.77-053.2-071-06

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СУСТАВОВ ПРИ ЮВЕНИЛЬНЫХ АРТРИТАХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© Кристина Алексеевна Максёнок, Артем Кириллович Артамонов,
Мария Александровна Канева, Екатерина Владимировна Гайдар,
Елена Владимировна Синельникова, Михаил Михайлович Костик

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2

Контактная информация: Елена Владимировна Синельникова — д.м.н., профессор, заведующая кафедрой лучевой диагностики и биомедицинской визуализации ФП и ДПО. E-mail: sinelnikovae@gmail.com

Поступила: 29.07.2022

Одобрена: 26.08.2022

Принята к печати: 06.10.2022

Резюме. Ультразвуковая визуализация играет большую роль в постановке диагноза и мониторинге лечения у пациентов с воспалительными артритами, а также в профилактике обострений заболевания и возникновении осложнений. Изучение нормальных ультразвуковых особенностей при развитии опорно-двигательной системы у детей является обязательным для правильной интерпретации патологических изменений в суставах. В литературном обзоре рассматриваются последние достижения и перспективы развития метода ультразвуковой диагностики опорно-двигательного аппарата при ювенильных артритах.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; УЗИ суставов; ювенильные идиопатические артриты.

TOPICAL ISSUES OF JOINTS ULTRASOUND IN JUVENILE ARTHRITIS (LITERATURE REVIEW)

© Kristina A. Maksenkova, Artem K. Artamonov, Maria A. Kaneva,
Ekaterina V. Gaidar, Elena V. Sinelnikova, Mikhail M. Kostik

Contact information: Elena V. Sinelnikova — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Biomedical Imaging of AF and FVE. E-mail: sinelnikovae@gmail.com

Received: 29.07.2022

Revised: 26.08.2022

Accepted: 06.10.2022

Summary. Ultrasound is important for diagnosing and monitoring the treatment of patients with inflammatory arthritis, as well as for preventing disease exacerbations and complications. It is important to study normal ultrasound features during the development of the musculoskeletal system in children for the correct interpretation of pathological changes in the joints. The literature review discusses the latest achievements and prospects for the development of the method of ultrasound diagnostics of the musculoskeletal system in juvenile arthritis.

Key words: ultrasound; joints ultrasound; juvenile arthritis.

В настоящее время ультразвуковое исследование (УЗИ) суставов и параартикулярных структур — хорошо зарекомендовавший себя метод, обладающий рядом преимуществ, таких как отсутствие ионизирующего излучения, низкая стоимость исследования, возможность выявления изменений кровоснабжения в мягких тканях с помощью цветового доплеровского сканирования, динамическое сканирование суставов в режиме реального времени, контроль инъекционной терапии стероидами при ювенильном идиопатическом артрите (ЮИА) [5, 15, 16, 21, 30, 36, 37, 45]. По сравнению с магнитно-резонансной томографией (МРТ) продолжитель-

ность УЗИ намного короче, а также возможна оценка большего количества анатомических областей/суставов за один сеанс. Еще одним преимуществом перед МРТ является то, что УЗИ не требует седации или общей анестезии у маленьких детей [15, 21, 36, 37], а также можно проводить исследование у постели больного [7, 21]. Несмотря на свои сильные стороны, МРТ не лишена недостатков из-за использования нефротоксичных контрастных препаратов для оценки состояния синовиальной оболочки, а также высокой стоимости процедуры [4, 15, 38, 39].

УЗИ обеспечивает точность при малоинвазивных вмешательствах, позволяя визуализировать

кончик иглы при навигации и подтверждение правильности введения препарата [7]. В настоящее время внутрисуставные инъекции широко применяются и рекомендуются для лечения ЮИА. Однако выполнение процедуры не регулируется стандартизованными рекомендациями. Значительные различия в практике отмечаются в использовании ультразвука для контроля инъекций. Почти половина (47,9%) респондентов указали, что не используют УЗИ ни рутинно, ни даже выборочно для внутрисуставных инъекций [10]. Инъекционные процедуры под контролем УЗИ связаны с очень низким уровнем осложнений (2–5%) [3]. УЗ-навигация помогает контролировать терапевтические инъекции во избежание осложнений, таких как кальцификации в результате периартикулярной инъекции, главным образом в области голеностопного и локтевого суставов. Контроль УЗИ особенно полезен, когда синовит в суставе клинически не очевиден [38]. На практике чаще всего выполняются инъекции в сухожильные влагалища задней большеберцовой мышцы, длинной малоберцовой мышцы и короткой малоберцовой мышцы [37].

Одной из самых актуальных задач является формирование стандартизированного и воспроизводимого протокола получения и оценки изображений в В-режиме и при ультразвуковой доплерографии суставов у детей [17, 35, 37, 39, 41].

УЗИ позволяет идентифицировать и дифференцировать различные воспалительные изменения в суставах и параартикулярных тканях: синовит, тендинит, лигаментит, бурсит, энтезит [21, 27]. Метод используется для оценки структуры хрящей в незрелом скелете [7], так как позволяет визуализировать неоссифицированные эпифизы и ядра костей до того, как они станут видны на обычных рентгенограммах [3, 21, 24], обладая высокой чувствительностью, обнаруживая всего 1 мл жидкости [7]. Количества синовиального выпота описывают различными методами полуколичественной и качественной оценки от 0-й до 4-й степени выраженности [4, 39]. Синовиальный выпот определяется как внутрисуставная, анэхогенная или гипоэхогенная смещающаяся аваскулярная структура, объем которой меняется при изменении положения сустава, перемещаясь в завороты и сумки. Жидкость в супрапателлярном углублении коленного сустава (толщиной менее 3 мм) обычно обнаруживается практически во всех возрастных группах и лучше визуализируется при сокращении четырехглавой мышцы [30, 37]. В то же время ни у одного из обследованных здоровых детей не было выявлено жидкости в тазобедренном суставе или в переднем отделе локтевого сустава [37].

С помощью метода УЗД делают попытки верификации характера и патогенеза экссудативных изменений в полости сустава. Гомогенные выпоты обычно наблюдаются при транзиторном синовите или остром гемартрозе и имеют однородную, анэхогенную или гипоэхогенную жидкость. Гетерогенные выпоты содержат эхогенные частицы в анэхогенной жидкости, которые могут представлять собой сгустки крови. Септический выпот обычно сопровождается заметным увеличением внутрисуставной жидкости без увеличения толщины синовиальной оболочки, тогда как при воспалении сустава наблюдается гиперплазия синовиальной оболочки и повышенная васкуляризация, а также возможное повреждение хряща и костные эрозии [30]. Доказана высокая чувствительность УЗ-признаков для оценки терапевтического ответа у пациентов с ЮИА. Воспалительные изменения при УЗИ часто встречаются в суставах с клинической ремиссией [19, 27].

Основной недостаток УЗИ — зависимость от оператора. Это требует хорошей практической подготовки и глубоких теоретических знаний о возрастных аспектах растущего скелета [11, 24, 37]. Еще одним недостатком являются различные ограничения, связанные с невозможностью визуализации внутрикостных изменений и ограниченностью акустических окон некоторых областей [37].

Для сканирования скелетно-мышечных структур необходимы высокочастотные (от 7 до 12 МГц) линейные датчики, адаптированные к возрасту и области исследования, а также возможно применение специализированных датчиков для мелких суставов кистей рук и стоп [7, 30, 37, 39, 40, 44].

Ювенильные артриты характеризуются хроническим синовиальным воспалением с потенциальным риском развития прогрессирующей деструкции суставов и серьезных функциональных нарушений [31], поэтому важная задача — раннее выявление изменений в суставах, что имеет также решающее значение для определения вариантов лечения [36]. Поздняя диагностика хронических воспалительных артритов может снизить вероятность ремиссии, вызвать прогрессирование заболевания внесуставными осложнениями, включая хронический увеит, задержку роста, амилоидоз и синдром активации макрофагов (MAS) [2, 7]. Это обуславливает потребность в методах визуализации, которые являются более чувствительными, чем обычная рентгенография, для оценки воспалительных процессов, а также ранних костно-хрящевых изменений [16]. Рентгенологический метод исследования суставов при воспалительных изменениях имеет ограничения, поскольку компоненты мягких

тканей имеют одинаковую рентгенографическую плотность и поэтому не могут быть визуализированы. Для обнаружения более поздних изменений в суставах рентгенография является дешевым, легкодоступным методом для выявления дегенерации хряща, остеопении, эрозии, анкилоза [16, 28]. Выявлена корреляция при сравнении толщины участка хряща во втором проксимальном пястно-фаланговом (ПМФ) суставе, втором проксимальном межфаланговом (ПМФ) и коленном суставах по данным УЗИ с шириной суставной щели, измеренной с помощью компьютерной рентгенографии у детей с ЮИА [28]. Тем не менее важно помнить, что при УЗИ не измеряется хрящ дистальной суставной поверхности, и это может ограничивать использование метода для оценки сужения суставной щели [16, 28].

При воспалительных артропатиях у детей такие традиционные методы оценки состояния суставов, как рентгенография или физикальное обследование не могут объективно оценить состояние синовиальной оболочки растущего скелета, в связи с чем необходим объективный параметр для оценки активности заболевания и ответа на терапию [7]. В пилотном исследовании L.A. Favier и соавт. [11] выявили расхождение между данными УЗИ и физикального обследования до 63%, при этом УЗИ выявило больше патологии, чем физикальное обследование [11]. В другом исследовании с участием 40 пациентов с ЮИА было продемонстрировано, что использование УЗИ для выявления синовита было более чувствительным (45%), чем только клиническое обследование (чувствительность 34%) [23].

Клинически неактивная фаза заболевания определяется при отсутствии суставов с активным артритом, лихорадки, сыпи, серозита, спленомегалии или генерализованной лимфаденопатии, связанной с ЮИА, отсутствием активного увеита, нормальной СОЭ или СРБ, и длительностью менее 15 минут утренней скованности [42]. Однако ряд исследователей выявили, что выпот и утолщение синовиальной оболочки часто присутствуют даже при клинически бессимптомном заболевании [7, 45]. Однако получены результаты распространенности ошибочной УЗ-оценки состояния суставов детей с ЮИА в двухлетнем проспективном исследовании с ультразвуковой оценкой лучезапястных, коленных, голеностопных и подтаранных суставов, среди которых подтаранные суставы имели самый высокий уровень ошибки (25%), когда при исследовании других суставов гипердиагностика достигала только 6–15% [42]. Предложена новая система оценки синовита у детей (PedSynS) для локтевого, лучезапястного, большеберцово-таранного суставов,

среднего отдела стопы и суставов пальцев. PedSynS состоит из 4-балльной полуколичественной оценки синовита [37]. Другие авторы использовали систему подсчета баллов, разработанную рабочей группой OMERACT по УЗИ для детей [34, 41].

Интерпретация доплеровского сигнала в структурах суставов у детей до сих пор остается наиболее сложной и наименее изученной проблемой. Необходимы четкие определения физиологической нормы ультразвуковой доплерографии у детей, чтобы отличать минимальный активный артрит от нормы. Группа OMERACT US включила результаты доплерографии в оценку суставов у здоровых детей в разных возрастных группах [8]. Исследуется роль ультразвуковых показателей энергетического и тканевого доплеровского картирования в оценке воспалительных изменений в коленных суставах в ответ на внутрисуставные инъекции стероидов [4].

Ряд исследователей считают низкой прогностическую ценность результатов ультразвукового исследования для клиницистов вследствие некорректной методики оценки структур суставов и интерпретации полученных данных [33]. Одной из проблем является гипердиагностика патологического кровоснабжения в некоторых исследованных суставах, что привело к выводу о необходимости описания синовита только в границах оболочки [33, 42].

В настоящее время нет единой точки зрения на корреляцию УЗ-признаков синовита в режиме цветового доплеровского картирования с течением и прогнозом развития обострений при клинически неактивных стадиях ЮИА.

Было выявлено, что суставной выпот, утолщение синовиальной оболочки и усиление васкуляризации синовии в режиме цветового доплеровского картирования могут часто встречаться у детей с клинически неактивным ЮИА, а наличие ошибочных результатов УЗИ не коррелировало с последующим обострением артрита во время клинического наблюдения [42]. Не было найдено также существенных различий в результатах УЗИ между пациентами, у которых наблюдалось обострение, и теми, кто оставался в ремиссии. Авторы сделали вывод, что субклинический синовит, выявленный с помощью УЗИ, не является предиктором обострений [25].

В другом исследовании выявление синовита при УЗИ в клинически бессимптомных суставах у пациентов с ЮИА в периоде клинической ремиссии встречалось достаточно часто и являлось фактором риска развития рецидива и текущего структурного повреждения сустава [6]. Пациенты с субклиниче-

ским синовитом в стадии ремиссии, получающие медикаментозное лечение, у которых при УЗИ регистрировалось повышение васкуляризации синовиальной оболочки, имели более высокий риск обострения, поэтому требовали тщательного контроля во время лечения [22]. У пациентов, находящихся в клинической ремиссии на фоне медикаментозного лечения и субклиническим синовитом по данным УЗИ, рекомендуется продолжить лечение из-за риска обострения ЮИА, а также проводить более частый УЗ-контроль из-за риска обострения заболевания и прогрессирования повреждения суставов [22].

Важность поиска УЗ-маркеров ремиссии в суставах при терапии ЮИА связана с многочисленными потенциальными материальными затратами для пациентов и системы здравоохранения. Многие пациенты, получающие лечение при ЮИА, испытывают побочные эффекты, такие как тошнота, боль в животе или реакции в месте инъекции. Учитывая многочисленные риски и стоимость лекарств от ЮИА, отмена лечения может улучшить качество их жизни [14].

Связанный с энтезитом артрит составляет примерно 10–37% пациентов с ЮИА и характеризуется преимущественно артритом нижних конечностей и энтезитом, поражающим мальчиков старше 6 лет, которые часто являются HLA-B27-положительными [7]. Крестцово-подвздошные суставы поражаются примерно у 30% детей с подтипом ERA ЮИА [7, 16, 23]. Сакроилеит обычно не наблюдается в начале заболевания; как правило, сначала диагностируется энтезит и периферический артрит нижних конечностей до развития поражения крестцово-подвздошного сустава. Несмотря на это, раннее выявление сакроилеита имеет решающее значение, так как влияет на тактику лечения. Клиническая оценка крестцово-подвздошных суставов затруднена из-за неспецифических и субъективных симптомов, которые могут возникать довольно поздно в течении заболевания [17]. В то время как диагноз остается клиническим, УЗИ все чаще используется для выявления субклинического энтезита и для навигации при выполнении инъекций [23]. По данным исследований МРТ является предпочтительным методом визуализации для выявления ранних воспалительных изменений в крестцово-подвздошных суставах. Активные признаки сакроилеита могут включать отек костного мозга, энтезит и капсулит/синовит. Особенности структурного повреждения включают эрозии, жировые отложения, склероз и анкилоз [16].

Характерное УЗ-строение нормальных сухожилий, мышц и связок у детей аналогично таковому у

взрослых. Но в отличие от взрослых в неизмененных сухожилиях у детей могут визуализироваться кровеносные сосуды при доплеровском исследовании, а умеренная перисухожильная васкуляризация может быть замечена у детей в возрасте 10–13 лет [37]. Толщина сухожилий увеличивается с возрастом или весом, что важно учитывать у растущих детей, поскольку определение энтезита при УЗИ у взрослых, по рекомендации OMERACT, включает наличие утолщения сухожилий и патологической васкуляризации наряду со снижением эхогенности, потерей фибриллярной архитектуры, возможной кальцификацией и костной эрозией в сухожилии [7].

Выявлена важная роль УЗИ в диагностике теносиновита для классификации подтипа ЮИА, поскольку отек является распространенным клиническим признаком как артрита, так и теносиновита [9]. По результатам ретроспективного исследования группы пациентов с ЮИА при отеке голеностопного сустава теносиновит встречался более чем у 50% пациентов при отсутствии признаков сопутствующего синовита сустава в той же области [9]. По данным исследователей, теносиновит чаще выявляли при УЗИ, чем при клиническом обследовании (70,5% против 32,4%) [18]. По результатам исследования был сделан вывод, что оценка наличия теносиновита, повреждения хряща и костной эрозии при УЗИ у детей может помочь лечащему врачу в выборе терапии у пациентов с ЮИА для предотвращения серьезных необратимых структурных изменений [41]. Особое внимание исследователи уделяют стандартизации измерений хряща, выбору положения конечности и угла сгибания в суставах, поиску точек локации [16, 28, 36]. При сравнении результатов УЗИ и МРТ гиалинового хряща был сделан вывод о достоверности метода измерения толщины хряща при помощи ультразвукового исследования для всех суставов, кроме лучезапястного, а также наибольшая корреляция была выявлена при измерении хряща на уровне межмышечкового углубления в согнутом коленном суставе [7]. Важность понимания УЗ-анатомии суставов у детей необходима для дифференциальной диагностики нормально развивающихся суставов и патологических изменений, так как нормальные хрящевые структуры могут быть ошибочно приняты за экссудат, нормальный физиологический кровоток в растущем гиалиновом хряще ребенка может быть ошибочно описан как воспаление [16, 30]. Точно так же уменьшение толщины хряща у пациентов с ЮИА может быть затруднено, поскольку толщина хряща обычно уменьшается с возрастом ребенка [37]. Основные сложности при оценке хря-

ща связывают с позиционированием датчика к суставной поверхности, что может повлиять на точность измерения, а также с трудностями в дифференциации растущего хряща в некоторых сложных анатомических областях [37]. Уменьшение толщины хряща у детей с ЮИА является важным ранним индикатором повреждения суставов и требующим интенсификации терапии до развития необратимых структурных повреждений [41], однако было обнаружено, что разрушение суставного хряща не зависит от маркеров воспаления и продолжительности заболевания [24]. К поздним деструктивным изменениям относятся эрозии субхондральной кости и анкилоз сустава, поэтому раннее выявление воспалительного процесса и костно-хрящевой дегенерации имеет большое значение для разработки оптимальной тактики лечения [28]. У детей контур субхондральной кости при УЗИ может казаться неровным, что чрезвычайно затрудняет правильную интерпретацию результатов исследования. Важно понимать, что неровность субхондральной пластины у ребенка может являться как нормой, так и патологией [21, 29]. Оценка костно-эрозивных изменений у детей затруднена, потому что некоторые аномалии в недавно окостеневших костях могли быть ошибочно истолкованы как эрозии кортикального слоя, что подчеркивает необходимость дальнейшего изучения нормальной анатомии кости во всех детских возрастных группах и эталонного стандарта [37, 41].

Новым направлением в УЗИ суставов являются исследования, связанные с объемной визуализацией поверхности головки бедренной кости, что может улучшить выявление эрозий, а более широкое использование УЗИ с контрастированием может помочь в более точной оценке синовиального воспаления, что только предстоит оценить у детей [36].

Другой технологией, улучшившей диагностику ЮИА, является эластография, которая обеспечивает более полную оценку мышц и поверхностных тканей при миозите и атрофии мышц [13]. УЗИ имеет чувствительность 82,9% для выявления гистологически доказанного миозита [12]. D. Alis и соавт. исследовали эффективность картирования микрососудистого русла с высоким пространственно-временным разрешением SMI (Superb Microvascular Imaging) при оценке воспаления синовиальной оболочки коленного сустава у пациентов с ЮИА по сравнению с ультразвуковой доплерографией (PDUS). Был рассчитан индекс сосудистой системы (VI), вручную нарисованы контуры интересующей области в самой толстой части синовиальной оболочки с помощью PDUS и SMI [1]. Картирование микрососудистого русла с высоким пространствен-

но-временным разрешением (SMI) является многообещающей методикой и важным дополнением к обычному УЗИ при оценке воспаления синовиальной ткани у пациентов с ЮИА. Микроваскулярная визуализация — это новый метод доплеровской визуализации, который может демонстрировать низкоскоростные потоки в микрососудистой сети за счет использования более высокой частоты кадров и более низкой частоты повторения импульсов, чем при PD, без необходимости использования контрастного вещества. Наряду с лучшей визуализацией мелких сосудов алгоритм SMI обеспечивает новую количественную оценку, поскольку VI соответствует кровотоку ткани в выбранной области путем расчета отношения цветовых пикселей к общему количеству пикселей.

Aikaterini Ntoulia и соавт. продемонстрировали ультразвуковое исследование с контрастным усилением (CEUS), которое все чаще используется у детей. Современные ультразвуковые контрастные вещества второго поколения (UCA) представляют собой крошечные микропузырьки, наполненные газом, которые вводятся внутривенно и остаются строго ограниченными внутри сосудистого русла. В присутствии ультразвукового акустического поля они усиливают эхо-сигналы от клеток крови и улучшают обнаружение кровотока в поверхностных и глубоких тканях, а также внутри сосудов [26].

Ультразвуковое исследование — это быстрый, экономичный и безопасный метод визуализации для помощи в диагностике ЮИА. УЗИ может обнаружить синовиальные, хрящевые и костные аномалии раньше, чем обычная рентгенография. УЗИ продемонстрировало более высокую чувствительность, чем клиническое обследование. Было также показано, что ультразвук позволяет выявить субклинический синовит, который невозможно обнаружить только при клиническом обследовании.

Визуализация играет большую роль в постановке диагноза и мониторинге лечения у пациентов с воспалительными артритами, а также профилактике обострений заболевания и возникновении осложнений. Знание нормальных изменений в развитии опорно-двигательной системы у детей является обязательным для правильной интерпретации патологических результатов [20]. Тем не менее отсутствуют стандартные рекомендации по УЗИ суставов у детей, что ограничивает диагностическую ценность этого метода. Неясно также, может ли УЗИ различать истинные эрозии и нормальные неровности поверхности, особенно в мелких суставах, что снова ограничивает его диагностическую ценность. Другим ограничением УЗИ является то,

что оно зависит от интерпретации и опыта оператора, которые могут варьировать.

За последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в создании доказательной базы для УЗИ опорно-двигательного аппарата в детской ревматологии [43]. Это включает в себя четкое определение УЗ-изображения нормального детского сустава и энтезиса при УЗИ, определения патологии и установление специальной системы подсчета баллов при описании патологии коленного сустава у детей. УЗИ играет важную роль в выявлении субклинического синовита и может предсказывать обострения у детей, которые клинически считаются находящимися в стадии ремиссии. УЗИ опорно-двигательного аппарата, вероятно, играет важную роль в дополнение к клиническому обследованию, особенно при ЮИА, и будет способствовать ранней диагностике и точному определению ремиссии [32].

Финансирование исследования и конфликт интересов

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alis D., Erol B.C., Akbas S. et al. Superb Microvascular Imaging Compared With Power Doppler Ultrasound in Assessing Synovitis of the Knee in Juvenile Idiopathic Arthritis: A Preliminary Study. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*. 2020; 39(1): 99–106.
2. Al-Mayouf S.M., Hashad S., Khawaja K. et al. Cumulative Damage in Juvenile Idiopathic Arthritis: A Multicenter Study From the Pediatric Rheumatology Arab Group. *Arthritis care and research*. 2021; 73(4): 586–92.
3. Avenarius D.F.M., Nusman C., Malattia C. et al. Current status of wrist imaging in juvenile idiopathic arthritis. *Pediatric radiology*. 2018; 48(6): 801–10.
4. Baikar T., Chhabra A., Yadav T.P. et al. Power Color Doppler and Spectral Doppler Ultrasonography to Evaluate Response to Intra-articular Steroid Injection in Knee Joints in Juvenile Idiopathic Arthritis. *Indian journal of pediatrics*. 2017; 84(11): 826–32.
5. Barbuti L., Di Serafino M., Della Vecchia N. et al. Pediatric musculoskeletal ultrasound: a pictorial essay. *Journal of ultrasound*. 2019; 22(4): 491–502.
6. Beck M.C., Glimm A.M., Ohrndorf S. et al. Fluorescence optical imaging in pediatric patients with inflammatory and non-inflammatory joint diseases: a comparative study with ultrasonography. *Arthritis research and therapy*. 2017; 19(1): 233.
7. Brunner E., Ting T., Vega-Fernandez P. Musculoskeletal ultrasound in children: Current state and future directions. *European journal of rheumatology*. 2020; 7(Suppl1): S28–37.
8. Collado P., Windschall D., Vojinovic J. et al. OMERACT ultrasound subtask force on pediatric Amendment of the OMERACT ultrasound definitions of joints' features in healthy children when using the DOPPLER technique. *Pediatric rheumatology online journal*. 2018; 16(1).
9. Della Paolera S., Pastore S., Zabotti A. et al. Ultrasonographic Assessment for Tenosynovitis in Juvenile Idiopathic Arthritis with Ankle Involvement: Diagnostic and Therapeutic Significance. *Children (Basel, Switzerland)*. 2022; 9(4).
10. Dhanrajani A., Khubchandani R.P. Joint injection practice variations in pediatric rheumatology — a global survey and call for action. *Pediatric rheumatology online journal*. 2020; 18(1).
11. Favier L.A., Ting T.V., Modi A.C. Feasibility of a musculoskeletal ultrasound intervention to improve adherence in juvenile idiopathic arthritis: a proof-of concept trial. *Pediatric rheumatology online journal*. 2018; 16(1).
12. Fodor D., Rodriguez-Garcia S.C., Cantisani V. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for Musculoskeletal Ultrasound. Part I: Extraarticular Pathologies. *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany: 1980)*. 2022; 43(1): 34–57.
13. Gonzalez N.L., Hobson-Webb L.D. Neuromuscular ultrasound in clinical practice: A review. *Clinical neurophysiology practice*. 2019; 4: 148–163.
14. Halyabar O., Mehta J., Ringold S. et al. Treatment Withdrawal Following Remission in Juvenile Idiopathic Arthritis: A Systematic Review of the Literature. *Paediatric drugs*. 2019; 21(6): 469–92.
15. Hechler B.L., Phero J.A., Van Mater H., Matthews N.S. Ultrasound versus magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis: a systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2018; 47(1): 83–9.
16. Hemke R., Herregods N., Jaremko J.L. et al. Imaging assessment of children presenting with suspected or known juvenile idiopathic arthritis: ESSR-ESPR points to consider. *European radiology*. 2020; 30(10): 5237–49.
17. Hemke R., Tzaribachev N., Barendregt A.M. et al. Imaging of the knee in juvenile idiopathic arthritis. *Pediatric radiology*. 2018; 48(6): 818–27.
18. Lanni S., Marafon D.P., Civino A. et al. Comparison Between Clinical and Ultrasound Assessment of the Ankle Region in Children With Juvenile Idiopathic Arthritis. *Arthritis care and research*. 2021; 73(8): 1180–6.
19. Lanni S., van Dijkhuizen E.H.P., Vanoni F. et al. Ultrasound changes in synovial abnormalities induced by treatment in juvenile idiopathic arthritis. *Clinical and experimental rheumatology*. 2018; 36(2): 329–34.

20. Malattia C., Rinaldi M., Martini A. The role of imaging in juvenile idiopathic arthritis. Expert review of clinical immunology. 2018; 14(8): 681–94.
21. Malattia C., Tzaribachev N., van den Berg J.M., Magni-Manzoni S. Juvenile idiopathic arthritis — the role of imaging from a rheumatologist's perspective. Pediatric radiology. 2018; 48(6): 785–91.
22. Miotto E., Silva V.B., Mitraud S.A.V. et al. Patients with juvenile idiopathic arthritis in clinical remission with positive power Doppler signal in joint ultrasonography have an increased rate of clinical flare: a prospective study. Pediatric rheumatology online journal. 2017; 15(1).
23. Mistry R.R., Patro P., Agarwal V., Misra D.P. Enthesitis-related arthritis: current perspectives. Open access rheumatology: research and reviews. 2019; 11: 19–31.
24. Mitra S., Samui P. P., Samanta M. et al. Ultrasound detected changes in joint cartilage thickness in juvenile idiopathic arthritis. International journal of rheumatic diseases. 2019; 22(7): 1263–70.
25. Nieto-González J.C., Rodríguez A., Gámir-Gámir M.L. et al. Can ultrasound-detected subclinical synovitis be an indicator of flare recurrence in juvenile idiopathic arthritis remission patients on tapered TNFi? Clinical and experimental rheumatology. 2019; 37(4): 705–12.
26. Ntoulia A., Barnewolt C.E., Doria A.S. et al. Contrast-enhanced ultrasound for musculoskeletal indications in children. Pediatric radiology. 2021; 51(12): 2303–23.
27. Pracon G., Aparisi Gómez M.P., Simoni P. et al. Conventional Radiography and Ultrasound Imaging of Rheumatic Diseases Affecting the Pediatric Population. Seminars in musculoskeletal radiology. 2021; 25(1): 68–81.
28. Pradsgaard D.Ø., Hørlyck A., Spannow A.H. et al. A Comparison of Radiographic Joint Space Width Measurements Versus Ultrasonographic Assessment of Cartilage Thickness in Children with Juvenile Idiopathic Arthritis. The Journal of rheumatology. 2019; 46(3): 301–8.
29. Quesada-Masachs E., Lopez-Corbeto M., Moreno-Ruzafa E. Ultrasound in pediatric rheumatology: Highlighting the differences with adults. European journal of rheumatology. 2022.
30. Rizvi M.B., Rabiner J.E. Heterogeneous Knee Effusions on Point-of-Care Ultrasound in a Toddler Diagnosed With Juvenile Idiopathic Arthritis. Pediatric emergency care. 2018; 34(9): 673–5.
31. Rosendahl K., Bruserud I.S., Oehme N. et al. Normative ultrasound references for the paediatric wrist; dorsal soft tissues. RMD open. 2018; 4(1): e000642.
32. Roth J. Emergence of Musculoskeletal Ultrasound Use in Pediatric Rheumatology. Current rheumatology reports. 2020; 22(5).
33. Roth J. Predictive Value of Musculoskeletal Ultrasound for Flares in Juvenile Idiopathic Arthritis. The Journal of rheumatology. 2019; 46(1): 113.
34. Roth J., Ravagnani V., Backhaus M. et al. Preliminary Definitions for the Sonographic Features of Synovitis in Children. Arthritis care and research. 2017; 69(8): 1217–23.
35. Sande N.K., Bøyesen P., Aga A.B. et al. Development and reliability of a novel ultrasonographic joint-specific scoring system for synovitis with reference atlas for patients with juvenile idiopathic arthritis. RMD open. 2021; 7(2): e001581.
36. Shelmerdine S.C., Di Paolo P.L., Tanturri de Horatio L. et al. Imaging of the hip in juvenile idiopathic arthritis. Pediatric radiology. 2018; 48(6): 811–7.
37. Spârchez M., Fodor D. What's new in musculoskeletal ultrasound in pediatric rheumatology? Medical ultrasonography. 2018; 20(3): 371–8.
38. Sudoł-Szopińska I., Jans L., Jurik A.G. et al. Imaging Features of the Juvenile Inflammatory Arthropathies. Seminars in musculoskeletal radiology. 2018; 22(2): 147–65.
39. Ting T.V., Vega-Fernandez P., Oberle E.J. et al. Novel Ultrasound Image Acquisition Protocol and Scoring System for the Pediatric Knee. Arthritis care and research. 2019; 71(7): 977–85.
40. Tonni I., Borghesi A., Tonesi S. et al. An ultrasound protocol for temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis: a pilot study. Dento Maxillo Facial Radiology. 2021; 50(8). 20200399.
41. Ventura-Ríos L., Faugier E., Barzola L. et al. Reliability of ultrasonography to detect inflammatory lesions and structural damage in juvenile idiopathic arthritis. Pediatric rheumatology online journal. 2018; 16(1): 58.
42. Zhao Y., Rascoff N.E., Iyer R.S. et al. Flares of Disease in Children with Clinically Inactive Juvenile Idiopathic Arthritis Were Not Correlated with Ultrasound Findings. The Journal of rheumatology. 2018; 45(6): 851–7.
43. Zou L.X., Lu M.P., Jung L.K.L. Current status and recent advances on the use of ultrasonography in pediatric rheumatic diseases. World journal of pediatrics: WJP. 2020; 16(1): 52–9.
44. Zwir L.F., Terreri M.T., do Amaral E Castro A. et al. Is power Doppler ultrasound useful to evaluate temporomandibular joint inflammatory activity in juvenile idiopathic arthritis? Clinical rheumatology. 2020; 39(4): 1237–40.
45. Сулика Е.В., Акиншин И.И., Горбунова Т.О. и др. Некоторые проблемы ультразвуковой визуализации суставов при ранней диагностике ювенильного ревматоидного артрита. Педиатр. 2013; 4(2): 106–9.

REFERENCES

1. Alis D., Erol B.C., Akbas S. et al. Superb Microvascular Imaging Compared With Power Doppler Ultrasound in Assessing Synovitis of the Knee in Juvenile Idiopathic Arthritis: A Preliminary Study. Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine. 2020; 39(1): 99–106.
2. Al-Mayouf S.M., Hashad S., Khawaja K. et al. Cumulative Damage in Juvenile Idiopathic Arthritis: A Multicenter Study From the Pediatric Rheumatology Arab Group. Arthritis care and research. 2021; 73(4): 586–92.

3. Avenarius D.F.M., Nusman C., Malattia C. et al. Current status of wrist imaging in juvenile idiopathic arthritis. *Pediatric radiology*. 2018; 48(6): 801–10.
4. Baikar T., Chhabra A., Yadav T.P. et al. Power Color Doppler and Spectral Doppler Ultrasonography to Evaluate Response to Intra-articular Steroid Injection in Knee Joints in Juvenile Idiopathic Arthritis. *Indian journal of pediatrics*. 2017; 84(11): 826–32.
5. Barbuto L., Di Serafino M., Della Vecchia N. et al. Pediatric musculoskeletal ultrasound: a pictorial essay. *Journal of ultrasound*. 2019; 22(4): 491–502.
6. Beck M. C., Glimm A. M., Ohrndorf S. et al. Fluorescence optical imaging in pediatric patients with inflammatory and non-inflammatory joint diseases: a comparative study with ultrasonography. *Arthritis research and therapy*. 2017; 19(1): 233.
7. Brunner E., Ting T., Vega-Fernandez P. Musculoskeletal ultrasound in children: Current state and future directions. *European journal of rheumatology*. 2020; 7(Suppl1): S28–37.
8. Collado P., Windschall D., Vojinovic J. et al. OMERACT ultrasound subtask force on pediatric Amendment of the OMERACT ultrasound definitions of joints' features in healthy children when using the DOPPLER technique. *Pediatric rheumatology online journal*. 2018; 16(1).
9. Della Paolera S., Pastore S., Zabotti A. et al. Ultrasonographic Assessment for Tenosynovitis in Juvenile Idiopathic Arthritis with Ankle Involvement: Diagnostic and Therapeutic Significance. *Children (Basel, Switzerland)*. 2022; 9(4).
10. Dhanrajani A., Khubchandani R.P. Joint injection practice variations in pediatric rheumatology — a global survey and call for action. *Pediatric rheumatology online journal*. 2020; 18(1).
11. Favier L.A., Ting T.V., Modi A.C. Feasibility of a musculoskeletal ultrasound intervention to improve adherence in juvenile idiopathic arthritis: a proof-of concept trial. *Pediatric rheumatology online journal*. 2018; 16(1).
12. Fodor D., Rodriguez-Garcia S.C., Cantisani V. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for Musculoskeletal Ultrasound. Part I: Extraarticular Pathologies. *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany)*. 2022; 43(1): 34–57.
13. Gonzalez N.L., Hobson-Webb L.D. Neuromuscular ultrasound in clinical practice: A review. *Clinical neurophysiology practice*. 2019; 4: 148–163.
14. Halyabar O., Mehta J., Ringold S. et al. Treatment Withdrawal Following Remission in Juvenile Idiopathic Arthritis: A Systematic Review of the Literature. *Paediatric drugs*. 2019; 21(6): 469–92.
15. Hechler B.L., Phero J.A., Van Mater H., Matthews N.S. Ultrasound versus magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis: a systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2018; 47(1): 83–9.
16. Hemke R., Herregods N., Jaremko J.L. et al. Imaging assessment of children presenting with suspected or known juvenile idiopathic arthritis: ESSR-ESPR points to consider. *European radiology*. 2020; 30(10): 5237–49.
17. Hemke R., Tzaribachev N., Barendregt A.M. et al. Imaging of the knee in juvenile idiopathic arthritis. *Pediatric radiology*. 2018; 48(6): 818–27.
18. Lanni S., Marafon D.P., Civino A. et al. Comparison Between Clinical and Ultrasound Assessment of the Ankle Region in Children With Juvenile Idiopathic Arthritis. *Arthritis care and research*. 2021; 73(8): 1180–6.
19. Lanni S., van Dijkhuizen E.H.P., Vanoni F. et al. Ultrasound changes in synovial abnormalities induced by treatment in juvenile idiopathic arthritis. *Clinical and experimental rheumatology*. 2018; 36(2): 329–34.
20. Malattia C., Rinaldi M., Martini A. The role of imaging in juvenile idiopathic arthritis. Expert review of clinical immunology. 2018; 14(8): 681–94.
21. Malattia C., Tzaribachev N., van den Berg J.M., Magni-Manzoni S. Juvenile idiopathic arthritis — the role of imaging from a rheumatologist's perspective. *Pediatric radiology*. 2018; 48(6): 785–91.
22. Miotto E., Silva V.B., Mitraud S.A.V. et al. Patients with juvenile idiopathic arthritis in clinical remission with positive power Doppler signal in joint ultrasonography have an increased rate of clinical flare: a prospective study. *Pediatric rheumatology online journal*. 2017; 15(1).
23. Mistry R.R., Patro P., Agarwal V., Misra D.P. Enthesitis-related arthritis: current perspectives. *Open access rheumatology: research and reviews*. 2019; 11: 19–31.
24. Mitra S., Samui P. P., Samanta M. et al. Ultrasound detected changes in joint cartilage thickness in juvenile idiopathic arthritis. *International journal of rheumatic diseases*. 2019; 22(7): 1263–70.
25. Nieto-González J.C., Rodríguez A., Gámir-Gámir M.L. et al. Can ultrasound-detected subclinical synovitis be an indicator of flare recurrence in juvenile idiopathic arthritis remission patients on tapered TNFi? *Clinical and experimental rheumatology*. 2019; 37(4): 705–12.
26. Ntoulia A., Barnewolt C.E., Doria A.S. et al. Contrast-enhanced ultrasound for musculoskeletal indications in children. *Pediatric radiology*. 2021; 51(12): 2303–23.
27. Pracon G., Aparisi Gómez M.P., Simoni P. et al. Conventional Radiography and Ultrasound Imaging of Rheumatic Diseases Affecting the Pediatric Population. *Seminars in musculoskeletal radiology*. 2021; 25(1): 68–81.
28. Pradsgaard D.Ø., Hørlyck A., Spannow A.H. et al. A Comparison of Radiographic Joint Space Width Measurements Versus Ultrasonographic Assessment of Cartilage Thickness in Children with Juvenile Idiopathic Arthritis. *The Journal of rheumatology*. 2019; 46(3): 301–8.
29. Quesada-Masachs E., Lopez-Corbeto M., Moreno-Ruzafa E. Ultrasound in pediatric rheumatology: Highlighting the differences with adults. *European journal of rheumatology*. 2022.
30. Rizvi M.B., Rabiner J.E. Heterogeneous Knee Effusions on Point-of-Care Ultrasound in a Toddler Diagnosed With Ju-

- venile Idiopathic Arthritis. *Pediatric emergency care*. 2018; 34(9): 673–5.
31. Rosendahl K., Bruserud I.S., Oehme N. et al. Normative ultrasound references for the paediatric wrist; dorsal soft tissues. *RMD open*. 2018; 4(1): e000642.
32. Roth J. Emergence of Musculoskeletal Ultrasound Use in Pediatric Rheumatology. *Current rheumatology reports*. 2020; 22(5).
33. Roth J. Predictive Value of Musculoskeletal Ultrasound for Flares in Juvenile Idiopathic Arthritis. *The Journal of rheumatology*. 2019; 46(1): 113.
34. Roth J., Ravagnani V., Backhaus M. et al. Preliminary Definitions for the Sonographic Features of Synovitis in Children. *Arthritis care and research*. 2017; 69(8): 1217–23.
35. Sande N.K., Bøyesen P., Aga A.B. et al. Development and reliability of a novel ultrasonographic joint-specific scoring system for synovitis with reference atlas for patients with juvenile idiopathic arthritis. *RMD open*. 2021; 7(2): e001581.
36. Shelmerdine S.C., Di Paolo P.L., Tanturri de Horatio L. et al. Imaging of the hip in juvenile idiopathic arthritis. *Pediatric radiology*. 2018; 48(6): 811–7.
37. Spâchez M., Fodor D. What's new in musculoskeletal ultrasound in pediatric rheumatology? *Medical ultrasonography*. 2018; 20(3): 371–8.
38. Sudół-Szopińska I., Jans L., Jurik A.G. et al. Imaging Features of the Juvenile Inflammatory Arthropathies. *Seminars in musculoskeletal radiology*. 2018; 22(2): 147–65.
39. Ting T.V., Vega-Fernandez P., Oberle E.J. et al. Novel Ultrasound Image Acquisition Protocol and Scoring System for the Pediatric Knee. *Arthritis care and research*. 2019; 71(7): 977–85.
40. Tonni I., Borghesi A., Tonesi S. et al. An ultrasound protocol for temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis: a pilot study. *Dento Maxillo Facial Radiology*. 2021; 50(8). 20200399.
41. Ventura-Ríos L., Faugier E., Barzola L. et al. Reliability of ultrasonography to detect inflammatory lesions and structural damage in juvenile idiopathic arthritis. *Pediatric rheumatology online journal*. 2018; 16(1): 58.
42. Zhao Y., Rascoff N.E., Iyer R.S. et al. Flares of Disease in Children with Clinically Inactive Juvenile Idiopathic Arthritis Were Not Correlated with Ultrasound Findings. *The Journal of rheumatology*. 2018; 45(6): 851–7.
43. Zou L.X., Lu M.P., Jung L.K.L. Current status and recent advances on the use of ultrasonography in pediatric rheumatic diseases. *World journal of pediatrics: WJP*. 2020; 16(1): 52–9.
44. Zwir L.F., Terreri M.T., do Amaral E Castro A. et al. Is power Doppler ultrasound useful to evaluate temporomandibular joint inflammatory activity in juvenile idiopathic arthritis? *Clinical rheumatology*. 2020; 39(4): 1237–40.
45. Sulika Ye.V., Akinshin I.I., Gorbunova T.O. i dr. Nekotoryye problemy ul'trazvukovoy vizualizatsii sustavov pri ranney diagnostike yuvenil'nogo revmatoidnogo artrita [Some problems of ultrasound imaging of the joints in the early diagnosis of juvenile rheumatoid arthritis]. *Pediatr*. 2013; 4(2): 106–9. (in Russian).