



Технологии Fusion при исследовании мышечно-скелетной системы

Гажонова В.Е.¹, Абельцев В.П.², Емельяненко М.В.², Онищенко М.П.²

¹ ФГБУ ДПО “Учебно-научный медицинский центр”
Управления делами Президента РФ, Москва, Россия

² ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия

Fusion Navigation in Evaluation of Musculo-Skeletal System

Gazhonova V.E.¹, Abelcev V.P.², Emelianenko M.V.², Onischenko M.P.²

¹ Postgraduate Professional Education “Educational and Research Medical Center” Management Department of the President of Russian Federation, Moscow, Russia

² “United Hospital and Policlinic” Management Department of the President of Russian Federation, Moscow, Russia

В статье обсуждаются возможности применения новой гибридной компьютерной технологии фьюжн (Fusion) для исследований мышечно-скелетной системы, предусматривающие сочетанное использование рентгенографии, сцинтиграфии, КТ, МРТ с УЗИ. Рассматриваются вопросы сочетанного использования Fusion с методиками доплеровского картирования, контрастного усиления и эластографии. Наглядно продемонстрированы преимущества методики Fusion при исследовании различных отделов мышечно-скелетной системы. Проводилась оценка возможностей технологии Fusion на аппарате My Lab Class C (Esaote), оснащенном модулем виртуальной навигации для исследования тазобедренного, коленного, плечевого суставов. Проводилось слияние изображений цифрового рентгенографического, МСКТ и МРТ у 16 пациентов амбулаторно и перед планируемой операцией, а также в реабилитационном периоде. Наглядно проиллюстрированы возможности технологии Fusion при исследовании капсульно-связочного аппарата различных суставов и околосуставных отделов.

Ключевые слова: фьюжн, виртуальная сонография в режиме реального времени, виртуальная навигация, Fusion УЗИ, эластография, мышечно-скелетная система.

Diagnostic capabilities of a new hybrid computer technology named Fusion in musculo-skeletal applications which provides a combined use of X-ray, scintigraphy, CT, PET, MRI with US are discussed in the issue. Questions of combined use of Fusion with Doppler, contrast enhancement and elastography are reviewed. Advantages of the Fusion technology in examination of different parts of musculo-skeletal system are clearly showed. Diagnostic capabilities of Fusion technology using US-device My Lab Class

C (ESAOTE) with a special virtual navigator module was studied for hip, knee, shoulder joints. Combination of X-ray, MSCT and MRI images before planning surgery and after, and in rehabilitation period were performed in 16 patients. Possibilities of Fusion technology in evaluation of different joint’s elements was carefully illustrated.

Key words: fusion, real-time virtual sonography, virtual navigation, Fusion US, elastography, musculo-skeletal system.

Введение

Новые технологии, предусматривающие сочетанное использование КТ, МРТ и УЗИ, стали все шире применяться в травматологии и спортивной медицине. Простота и доступность метода УЗИ, отсутствие лучевой нагрузки, проведение динамических функциональных проб в реальном времени и возможность синхронизации с изображениями МРТ или КТ обеспечили возрастающий интерес к применению фьюжн УЗИ (Fusion УЗИ) при исследовании мышечно-скелетной системы.

Фьюжн (Fusion) – это общее название технологии, вне зависимости от фирмы-производителя, на аппаратах которых она представлена. Она может называться навигационным УЗИ, фьюжн УЗИ (Fusion US) или виртуальной компьютерной сонографией в режиме реального времени (real time virtual sonography – RVS). Все это названия одного и того же метода одномоментного слияния изображений, полученных с помощью традиционного рентгеновского исследования, рентгеновской КТ,



МРТ, сцинтиграфии или ПЭТ с данными УЗИ. Возможности новой методики в спортивной медицине и травматологии еще только изучаются. Но уже первые публикации доказывают, что объединение разных методов визуализации может предоставить новую и весьма полезную диагностическую информацию. Преимущества слияния изображений разных методов визуализации позволяют преодолеть их ограничения: со стороны УЗИ – связанные с узостью поля обзора, а со стороны КТ–МРТ – связанные с невозможностью проведения исследований в реальном времени. Кроме того, новая технология может дать лучшее понимание топографической анатомии, объема и характера повреждения тканей, что особенно важно при исследовании пациентов с патологией мышечно-скелетной системы.

Первый экспериментальный опыт использования гибридной технологии Fusion КТ/УЗИ был апробирован L. Crocetti и соавт. для проведения биопсий и радиочастотной абляции на печени телят. Было показано, что технология Fusion обеспечивает выявление в печени большего числа очагов, чем каждый из методов в отдельности [1]. В последующих работах уже обсуждались преимущества работы с эхоконтрастными препаратами при УЗ-навигации. Это позволило проводить диагностику очаговых образований печени у пациентов с противопоказаниями к КТ с контрастированием [2, 3]. В дальнейшем был накоплен значительный материал по использованию виртуальной сонографии для выявления объемных образований в печени и почках [4–7]. Доказана позитивная роль виртуальной сонографии во время выполнения различных интервенционных процедур в гепатологии

и онкоурологии. При использовании Fusion повышается точность позиционирования биопсийной иглы без дополнительного рентгеновского облучения пациента, эффективность проведения чрескожной радиочастотной абляции для лечения опухолей печени, почек, прицельной пункционной биопсии предстательной железы [8–12]. В нейрохирургии имеются перспективы применения Fusion для навигации во время операции, заменяя интраоперационную рентгеноскопию [13]. Сообщается о возможностях применения Fusion для мониторинга лечения перитонеальной формы распространенного эндометриоза [14].

Использование Fusion в травматологии еще только изучается. Имеется всего одна публикация с малым числом пациентов по установлению анатомических маркеров при исследовании коленного, плечевого, голеностопного сустава и отдельных крупных мышц [15]. В связи с этим нам представляется интересным изучить возможности технологии виртуальной навигации при исследовании крупных суставов и изучить основные области применения этой методики в травматологии и ортопедии.

Мы проводили оценку возможностей технологии Fusion на аппарате My Lab Class C (Esaote) оснащенном модулем виртуальной навигации для исследования тазобедренного, коленного, плечевого суставов. Проводилось слияние изображений цифрового рентгенографического, МСКТ и МРТ у 16 пациентов амбулаторно и перед планируемой операцией, а также в реабилитационном периоде.

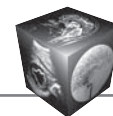
Основные принципы работы с технологией Fusion МРТ/КТ и УЗИ в России были описаны в пуб-

Для корреспонденции: Гаждонова Вероника Евгеньевна – 121359, Россия, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 17-2-244. Тел.: +7-499-147-83-41. E-mail: vx969@yandex.ru

Гаждонова Вероника Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБУ ДПО “Учебно-научный медицинский центр” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия, заведующая кабинетом УЗ-ангиографии, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия; **Абельцев Владимир Петрович** – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением травматологии ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия, врач-хирург ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия; **Емельяненко Михаил Валерьевич** – врач ортопед-травматолог хирургического отделения поликлиники ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия; **Онищенко Максим Павлович** – канд. мед. наук, заведующий отделением КТ и МРТ ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия.

Contact: Gazhonova Veronika Yevgenyevna – 121359, Russia, Moscow, Marshala Timoshenko str., 17-2-244. Phone: +7-499-147-83-41. E-mail: vx969@yandex.ru

Gazhonova Veronika Yevgenyevna – doct. of med. sci., professor, professor of radiology department of postgraduate professional education “educational and research medical center” management department of the president of russian federation; head of US-angiography of “United hospital and policlinic” management department of the President of Russian Federation, Moscow; **Abelcev Vladimir Petrovich** – doct. of med. sci., professor, chief of traumatology department of “United hospital and policlinic” management department of the President of Russian Federation, Moscow; **Emelianenko Mikhail Valeryevich** – traumatologist in surgery department of “United hospital and policlinic” management department of the President of Russian Federation, Moscow; **Onishchenko Maxim Pavlovich** – cand. of med., sci., chief of radiology department CT/MRI of “United hospital and policlinic” management department of the President of Russian Federation, Moscow.



ликациях А.В. Зубарева и соавт. [7]. В них были рассмотрены возможности технологии виртуальной сонографии при предоперационном исследовании пациентов с первичными и вторичными опухолями печени и почек [7].

Для проведения любого виртуального навигационного исследования необходимо соответствующее оборудование, которое обычно включается в спецификацию УЗ-сканера. При проведении самой процедуры вокруг пациента создается слабое магнитное поле. Небольшой магнит располагается рядом с пациентом, а миниатюрный магнитный датчик крепится на УЗ-датчике, что обеспечивает распознавание позиции датчика в пространстве относительно тела пациента, используя принцип GPS-навигации (рис. 1).

В память УЗ-аппарата загружаются данные любого лучевого исследования в формате DICOM. По нашему опыту для улучшения навигации при Fusion в память аппарата необходимо загружать DICOM массив 3D-данных. Современные алгоритмы сканирования МСКТ и МРТ позволяют получать тонкие (в том числе и субмиллиметровые срезы), благодаря которым становится возможным получение изотропного изображения, что создает одинаковое пространственное разрешение во всех направлениях при мультипланарных реконструкциях. Выбирается определенный томографический срез и такой же срез получают при УЗИ, используя реперные точки. После этого изображения помечаются как эквивалентные и проводится их автоматическое слияние (рис. 2, 3). Далее любое изменение положения УЗ-датчика автоматически изменяет и проекцию МРТ/КТ изображения. Стоит отметить, что технология Fusion может использовать в процессе своей работы все преимущества УЗИ: сосудистый режим (ЦДК/ЭК), эхоконтрастирование и соноэластографию. И эти дополнительные методики можно “накладывать” на лучевое изображение.

Ведущим преимуществом Fusion в травматологии является возможность преодоления основного недостатка УЗИ – узкого поля обзора. За счет совмещения двух методик при использовании Fusion расширяется область визуализации. Улучшается пространственное восприятие внутрисуставных структур и всего капсульно-связочного аппарата. Использование Fusion помогает в понимании мышечно-скелетной анатомии и характера травматических повреждений или мониторинга послеоперационных изменений. Например, для исследования контроля положения трансплантата медиального удерживателя надколенника (MPFL), недоступных для УЗ-визуализации в связи с внутрикостным расположением



Рис. 1. УЗ-система My Lab Class C (Esaote) для проведения виртуальной навигации. Магнит, создающий поле, располагается на специальном удерживателе над кушеткой. На датчике прикреплен магнитный датчик, улавливающий положение датчика в пространстве.

фрагментов трансплантата. Используя преимущества Fusion-технологии возможно под разными углами в реальном времени оценить положение внутрикостных биодеградируемых винтов и связочного аппарата, наложить изображение кровотока в зоне операции, оценить эластичность тканей и функциональное натяжение связочного аппарата (рис. 4). Конечно, для работы требуются навыки освоения и специальные знания мышечно-скелетной радиологии.

С помощью Fusion можно увидеть ранее недоступные для осмотра при УЗИ крестообразные связки. Для удобства их нахождения после слияния изображений можно установить курсор на зону связки на МРТ-изображении и автоматически система разместит точку на УЗ-изображении, что поможет визуализации связки. Так, у пациентки после артроскопической реконструкции передней крестообразной связки было проведено Fusion для оценки положения трансплантата, его анатомических точек фиксации и контроля положения фиксаторов. В связи с глубоким залеганием связки и изоэхогенностью с окружающими тканями при обычном УЗИ установить расположение связки невозможно, тогда как Fusion определяет топографию связки по маркеру (рис. 5).

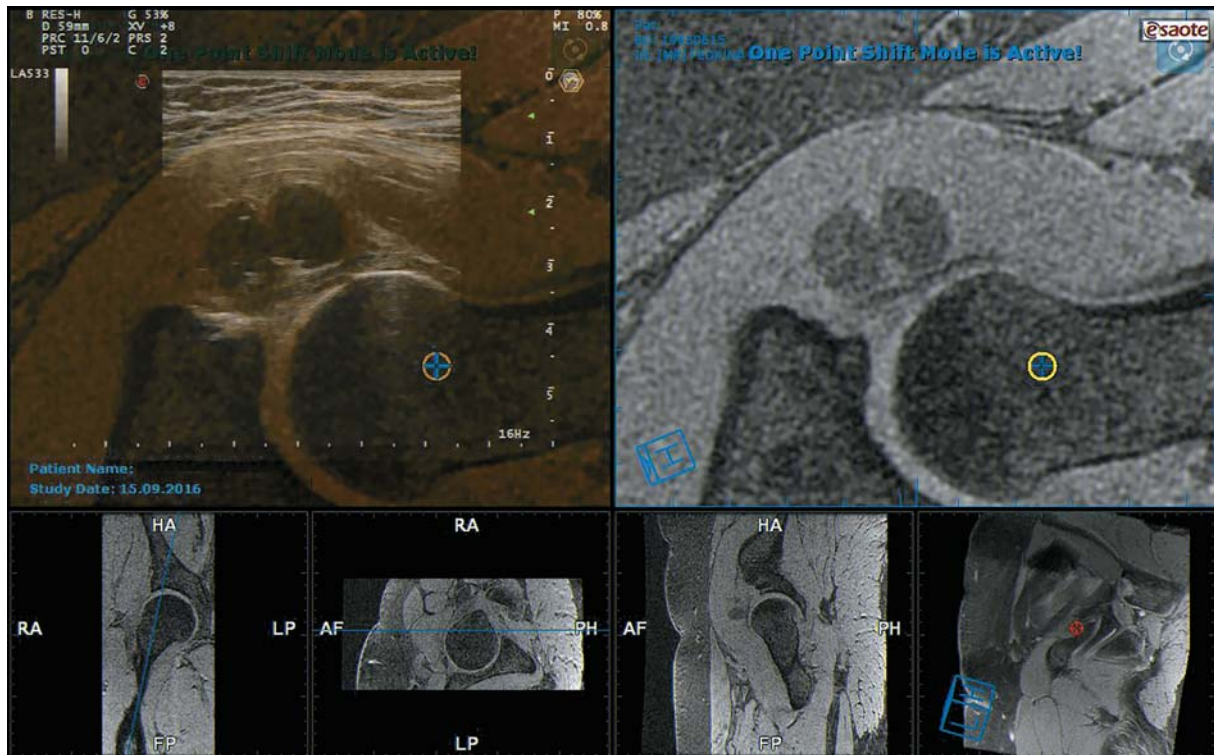
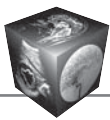


Рис. 2. Ультразвуковая виртуальная навигация Fusion MPT/УЗИ тазобедренного сустава пациентки с бурситом подвздошно-гребешковой сумки. На обоих изображениях в верхней части рисунка видна увеличенная в размерах подвздошно-гребешковая сумка. На УЗ-изображении видны две полости с анэхогенным содержимым. На MPT-изображении в произвольном срезе видна аналогичная область.

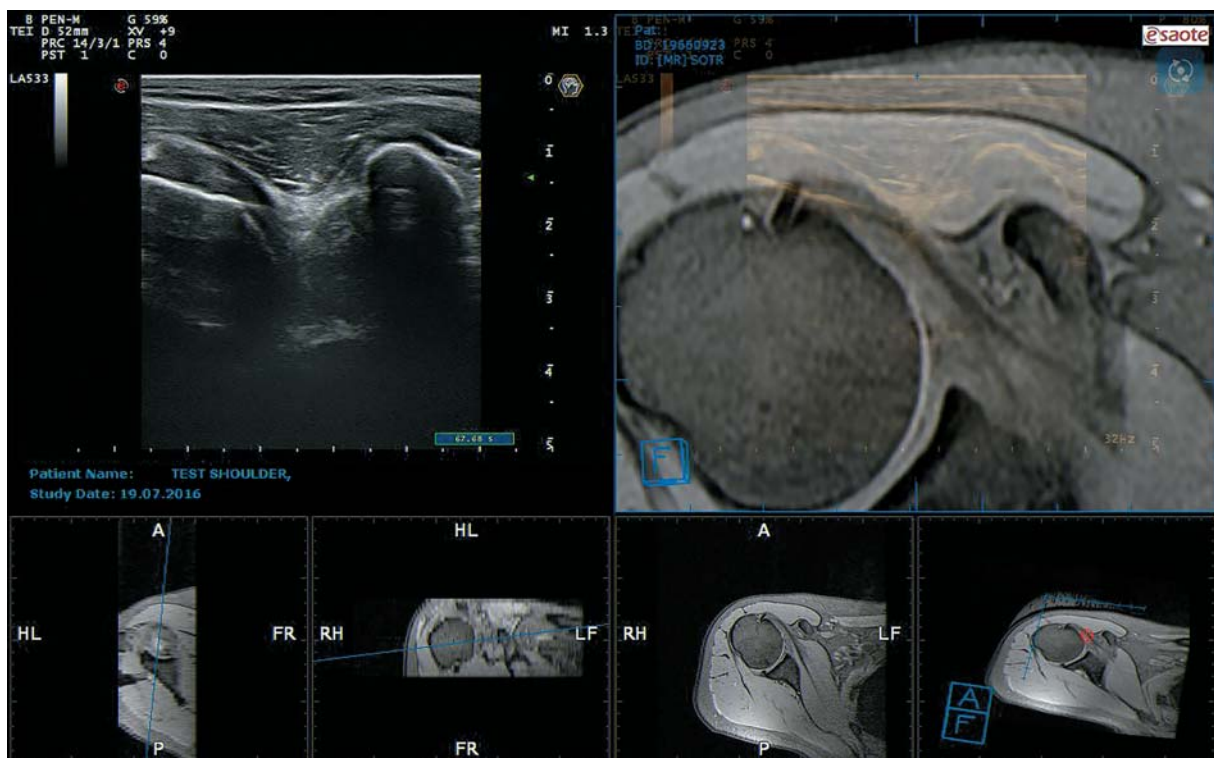


Рис. 3. Ультразвуковая виртуальная навигация Fusion MPT/УЗИ плечевого сустава на уровне сухожилия подлопаточной мышцы.

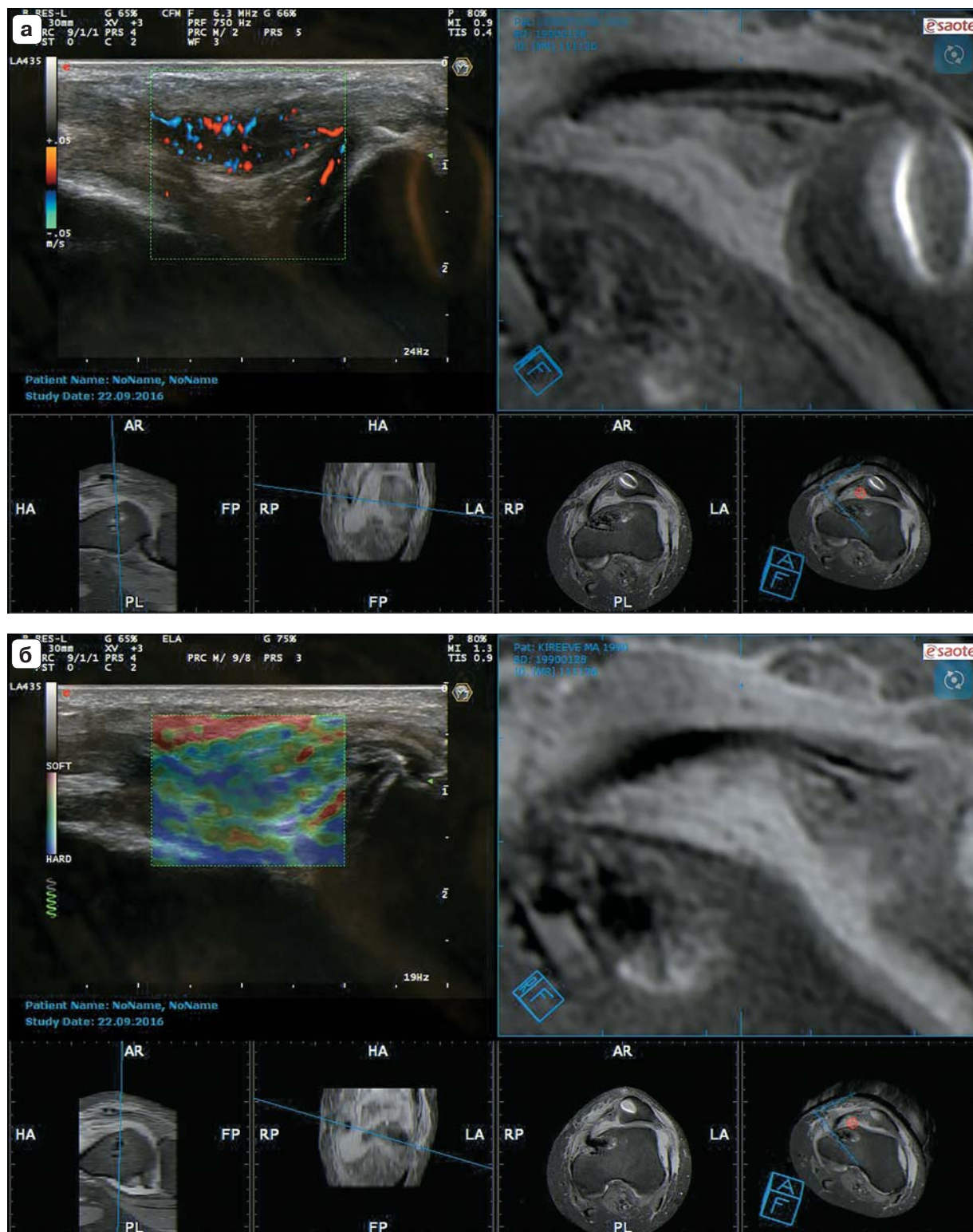


Рис. 4. Ультразвуковая виртуальная навигация Fusion MPT/УЗИ коленного сустава пациентки после установки трансплантата медиального удерживателя надколенника (MPFL). Реперные точки установлены в зоне внутрикостных биодеградируемых винтов. а – совмещение с режимом цветного доплеровского картирования. На косоперечном срезе через надколенник и мышелковую зону бедренной кости видна имплантированная связка с наличием усиленного кровотока в ней; б – совмещение с режимом эластографии. Видны эластичные волокна собственной связки с зоной высокой эластичности соответствующей имплантированной связке.

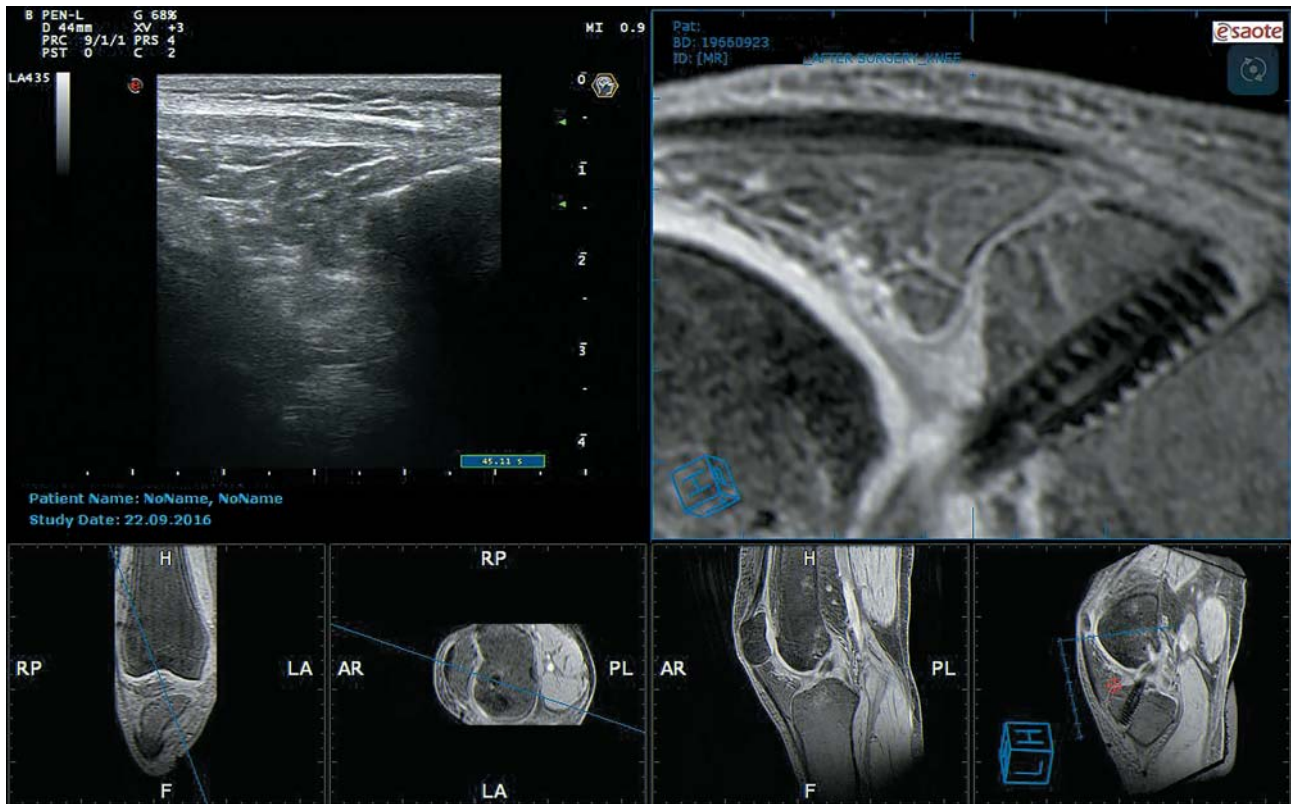
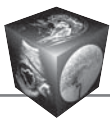


Рис. 5. Ультразвуковая виртуальная навигация Fusion MPT/УЗИ коленного сустава пациентки после артроскопической реконструкции передней крестообразной связки для оценки положения трансплантата. Реперные точки установлены в зоне установленных фиксаторов. В глубоких отделах сустава по маркеру видна имплантированная связка в виде гиперэхогенной линии.

Использование сосудистого режима совместно с Fusion, на наш взгляд, перспективно для диагностики активности процесса при ревматоидном артрите [16]. Как известно, наличие усиленного кровотока в синовиальных разрастаниях при ревматоидном артрите напрямую коррелирует со стадией активности болезни. А эффективность лечения напрямую зависит от своевременности выявления активной стадии болезни. Поэтому комбинируя сосудистый режим в процессе работы с Fusion у пациентов с признаками ревматоидного артрита, можно получить ценную информацию о состоянии периартикулярных тканей и гиалинового хряща, а также отслеживать динамику процесса на фоне терапии.

Высокая чувствительность современных доплеровских технологий для визуализации капиллярного кровотока может использоваться в технологии Fusion УЗИ в комплексе с данными серой шкалы при тендинопатиях. Было доказано, что усиление степени васкуляризации в сухожилии коррелирует со степенью выраженности болевого синдрома и ограничением физической активности [17]. Поэтому для оценки активности процесса

и мониторинга лечения можно применять Fusion у пациентов в реабилитационном периоде.

Перспективным также в травматологии является выполнение Fusion в режиме эластографии. Применение эластографии для исследования мышечно-скелетной системы пока еще только изучается, а область совмещения с Fusion УЗИ вообще еще не изучена. Степень деформации нормальной и патологической ткани в ответ на компрессию или сжатие легко можно поводить во время Fusion. Иногда неизменная и поврежденная ткани имеют одинаковые эхографические характеристики при УЗИ и при MPT. За счет отека, кровоизлияний, мукоидной дегенерации зоны частичных разрывов сухожилий теряются из виду, тогда как зоны разрывов в режиме эластографии имеют другие характеристики по плотности по сравнению с зонами дегенеративных изменений [18–21]. Совмещение с режимом эластографии позволяет дифференцировать плотность неясных патологических зон при Fusion и выявлять даже небольшие разрывы, что может кардинально изменить тактику лечения больного в пользу консервативного лечения, а также более точно спрог-



нозировать исход заболевания. Эта информация играет важную роль при планировании тактики лечения, но ее не всегда возможно получить при рутинном МРТ-исследовании.

Эластография также помогает оценке протяженности воспалительного процесса. Нам представляется перспективным использование Fusion-эластографии после МРТ для повышения достоверности диагностики и для более точного выявления состояния капсульно-связочного аппарата плечевого сустава. С помощью Fusion-эластографии определяют локализацию, характер, форму, протяженность и глубину поражения сухожилий вращательной манжеты плеча, проводят

дифференцировку застарелых разрывов с зонами мукоидной дегенерации, выявляют признаки и стадию жировой инфильтрации мышц у пациентов с болями и дисфункцией плечевого сустава.

Изменения плотностных характеристик тканей опережают во времени изменения эхогенности тканей в В-режиме, что может использоваться при мониторинге лечения травматических повреждений. При контрольном исследовании у пациентки с частичным повреждением сухожилия надостной мышцы, прошедшей курс консервативного лечения, определяется уменьшение отека, улучшение микроциркуляции тканей, что возможно оценить при Fusion в режиме сопоставления (рис. 6).

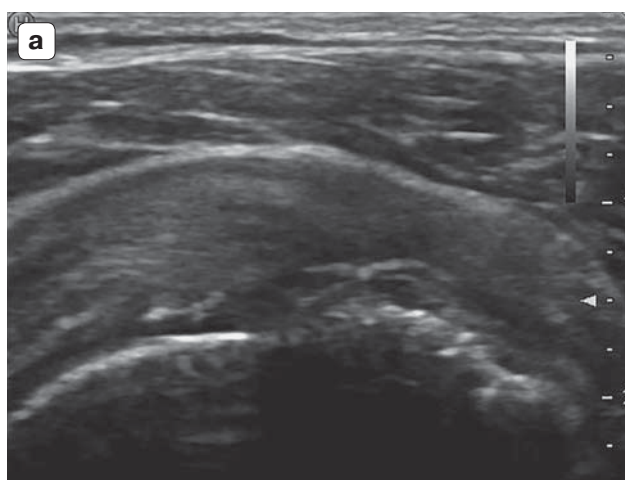
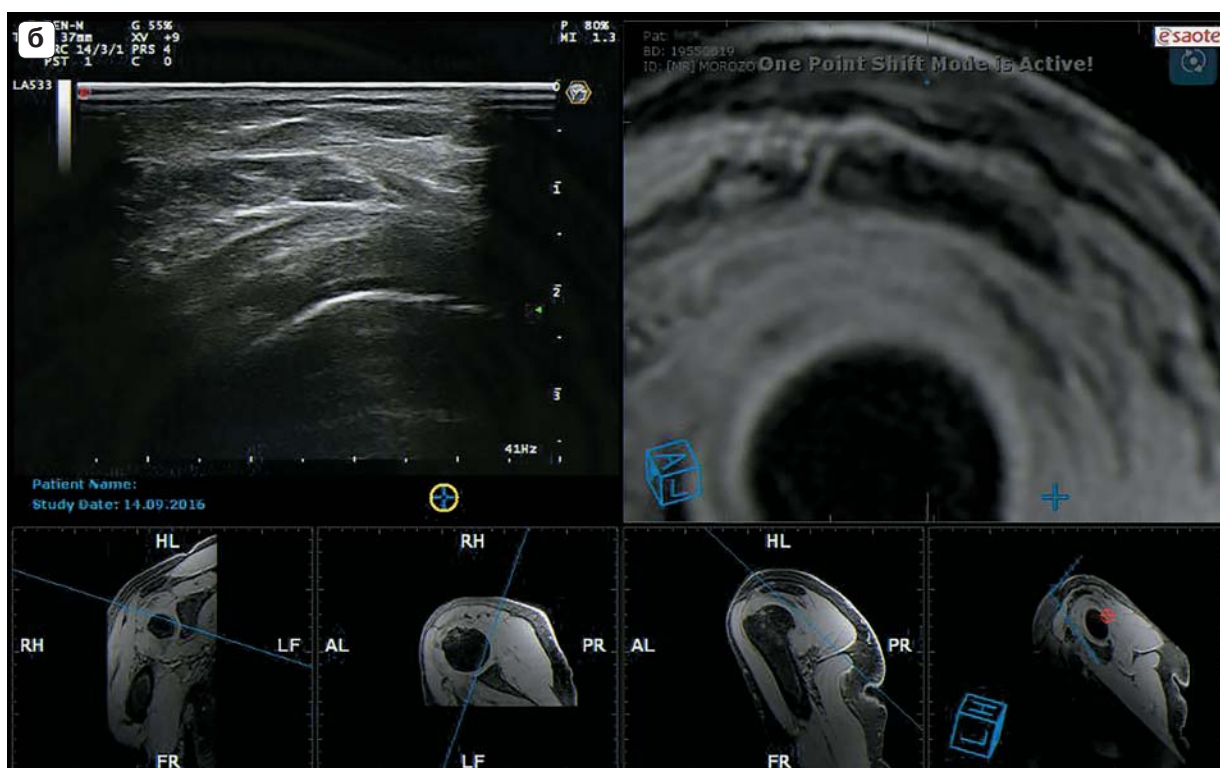


Рис. 6. Частичный внесуставной разрыв сухожилия надостной мышцы. Срезы через сухожилие и надостную мышцу. а – УЗ-изображение в В-режиме до лечения. Видны массивные кальцификаты и неровность контуров плечевой кости в зоне разрыва; б – через 1 мес после консервативного лечения проведено Fusion МРТ/УЗИ, которое показало, что имеется положительный эффект лечения. Более ровные контуры плечевой кости, исчезновение дефекта.



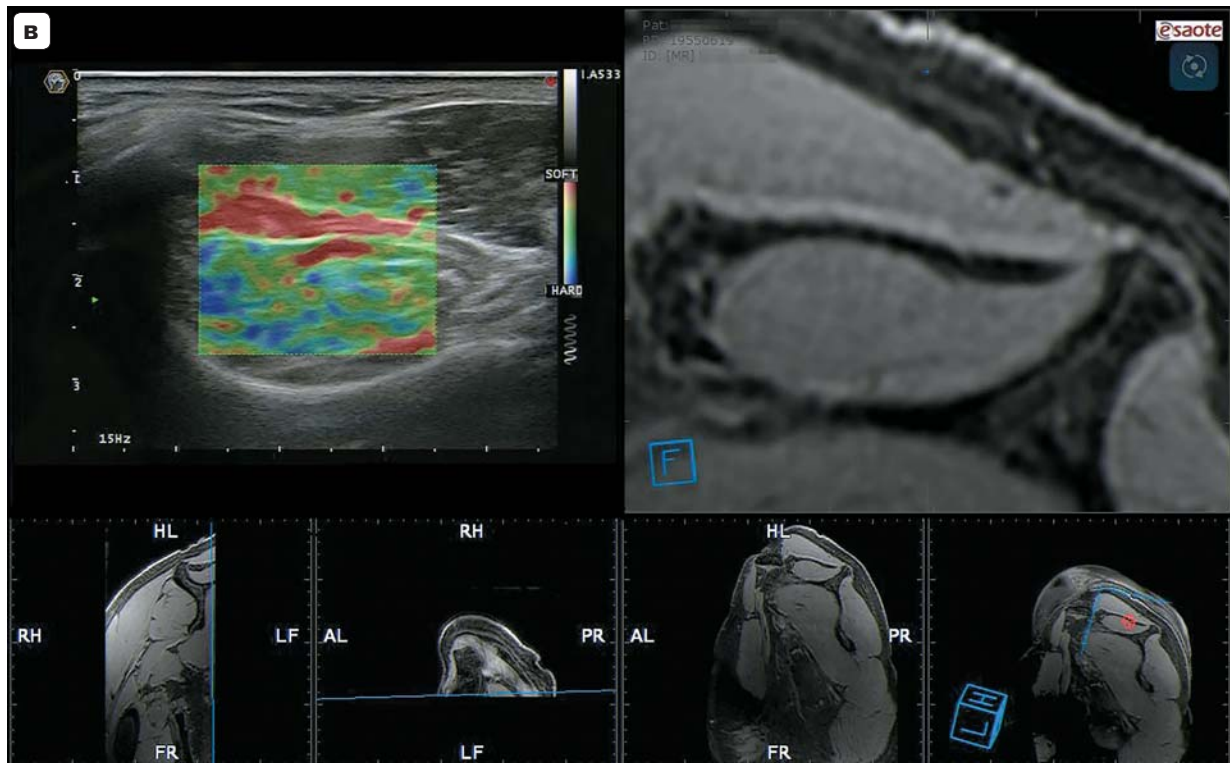
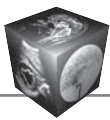


Рис. 6 (окончание). в – ультразвуковая виртуальная навигация Fusion MPT/УЗИ плечевого сустава на уровне надостной ямки с визуализацией надостной мышцы. Совмещение с режимом эластографии для определения функционального состояния надостной мышцы. Режим Fusion-эластографии позволяет выявить зону высокой эластичности, соответствующую жировой ткани по плотности над эластичной надостной мышцей.

В ряде работ, посвященных применению Fusion в арthroлогии, этот метод рекомендуют для проведения интервенционных процедур, в частности для проведения инъекций в крестцово-подвздошное сочленение, межпозвоночные (фасеточные) суставы, при блокадах в нервы глубокого залегания (например, срамного нерва) при купировании болевого синдрома [22, 23]. Технология автоматического позиционирования иглы при Fusion УЗИ в режиме реального времени эффективна при биопсии опухолей или при сложных интервенционных процедурах.

Контрастное усиление при Fusion УЗИ может быть также эффективно в диагностике, оценке протяженности поражения и при мониторинге лечения опухолей мышечно-скелетной системы, подвергшихся лучевой или химиотерапии. Наличие раннего контрастирования в артериальную фазу в образовании указывает на признаки злокачественности или на наличие резидуальной опухоли, если проводилась терапия. В связи с этим интерес представляет сопоставление ультразвукового и лучевого изображения опухолей для отслеживания динамики.

Мы также согласны с исследователями, которые считают, что гибридную технологию рекомендуется применять для обучения УЗИ мышечно-скелетной системы для улучшения идентификации анатомических объектов на этапе последипломного обучения [24]. Лучшее понимание патологического процесса и анатомии сустава достигнуто при непосредственной работе с технологией Fusion самими ортопедами. В процессе гибридного исследования врач-специалист оперирует виртуальными МСКТ- или МРТ-данными в реальном времени, проводя по интересующему объекту УЗ-датчиком и исследуя именно те участки, которые интересны с позиций хирургической тактики. Это должно обеспечить более точную диагностику, выбор наиболее оптимального метода лечения, точное предоперационное планирование и сокращение продолжительности артроскопической операции, а соответственно и улучшение результатов лечения.

В последнее время все шире для лечения тяжелых повреждений, приобретенных или врожденных заболеваний суставов применяют эндопротезирование. Наибольшую группу осложнений

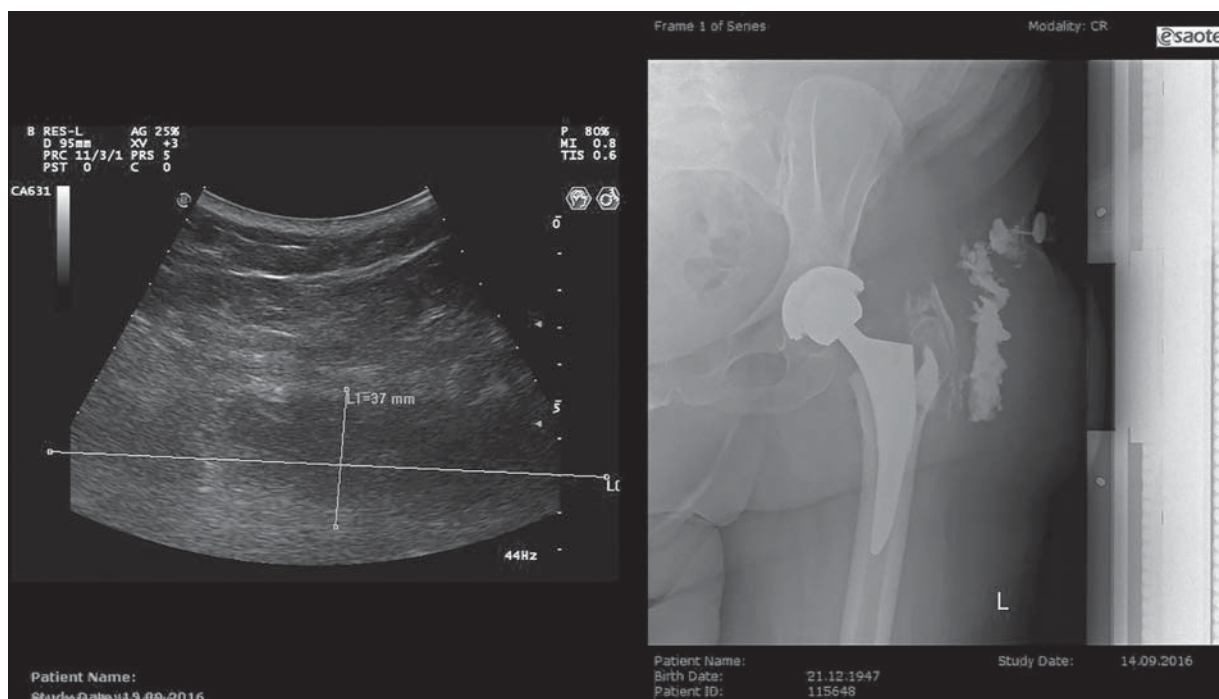
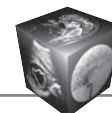


Рис. 7. Рентгеновская навигация в режиме Fusion Body Mark тазобедренной области у пациентки после реэндопротезирования левого тазобедренного сустава. При фистулографии на рентгенограмме виден затек контраста в полость гематомы. Совмещение данных при УЗ-сканировании позволяет уточнить топографию полости гематомы на левой части рисунка для аспирации содержимого.

среди пациентов, перенесших эндопротезирование тазобедренного и коленного суставов, составляют инфекционные осложнения, послеоперационные свищи, гематомы, а для плечевого сустава – инфицирование, импиджмент и разрывы вращательной манжеты. Метод цифровой рентгенографии в послеоперационном периоде является “золотым стандартом” диагностики ранних и поздних осложнений наряду со сцинтиграфией и артрографией, но не дает информации о состоянии мягких тканей и сухожильно-связочного аппарата. В свою очередь диагностическая ценность МСКТ и МРТ в послеоперационном периоде ограничены появлением артефактов от металлической части конструкции эндопротеза. О необходимости комплексного исследования таких пациентов для контроля результатов эндопротезирования с включением УЗИ упоминалось во многих работах [25–28]. Однако узкое поле обзора при УЗИ ограничивает применение этого метода при эндопротезировании крупных суставов. При использовании технологии Fusion можно избежать этих недостатков и извлечь преимущества за счет сопоставления нескольких лучевых методов одновременно во время исследования. Ультразвуковая навигация Fusion Body Mark (Esaote) с использова-

нием рентгенограммы облегчает топографическую локализацию затека, например у пациентов с послеоперационными гематомами (рис. 7).

Заклучение

Совершенствование артроскопической техники, прогресс в эндопротезировании требуют высокого уровня диагностики. Этот уровень может обеспечить мультимодальный подход при Fusion, методике, соединяющей в себе все преимущества лучевых методик и расширяющей диагностический горизонт каждого метода в совокупности. Наш опыт применения методики Fusion показал, что у метода есть своя ниша в травматологии и ортопедии. Метод требует дальнейшего изучения для внедрения его в практику профильных медицинских центров.

Список литературы / References

1. Crocetti L., Lenchioni R., De Beni S. et al. Targeting Liver Lesions for Radiofrequency Ablation An Experimental Feasibility Study Using a CT-US Fusion Imaging Syst. *Invest Radiol.* 2008; 43: 33–39.
2. Sandulescu L., Saftoiu A., Dumitrescu D., Ciurea T. Real time contrast-enhanced and real-time virtual sonography in the assessment of benign liver lesions. *J. Gastrointest. Liver Dis.* 2008; 17 (4): 475–478.



3. Jung E.M., Schreyer A.G., Schacherer D. et al. New real-time image fusion technique for characterization of tumor vascularization and tumor perfusion of liver tumors with contrast enhanced ultrasound, spiral CT or MRI: first results. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2009; 43: 57–69.
4. Hirooka M., Iuchi H., Kumagi T. et al. Virtual sonographic radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma visualized on CT but not on conventional sonography. *Am. J. Roentgenol.* 2006; 186: 255–260.
5. Stang A., Keles H., Hentschke S. et al. Real-time Ultrasonography-Computed tomography fusion imaging for staging of hepatic metastatic involvement in patients with colo-rectal cancer. Initial results from comparison to US seeing separate CT images and to multidetector-row CT alone. *Invest. Radiol.* 2010; 45: 491–501.
6. Hakime A., Deschamps F., De Carvalho E.G.M. et al. Clinical Evaluation of Spatial Accuracy of a Fusion Imaging Technique Combining Previously Acquired Computed Tomography and Real-Time Ultrasound for Imaging of Liver Metastases. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2011; 34: 338–344.
7. Зубарев А.В., Чуркина С.О., Федорова Н.А. Новые компьютерные технологии: первый опыт сочетания данных УЗИ, КТ, МРТ. Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России 2012; 12 (4): http://vestnik.mcrr.ru/vestnik/v12/papers/fiodr_v12.htm (дата обращения 2.06.2016 г.)
Zubarev A.V., Churkina S.O., Fyodorova N.A. New computer technology: first experience of combination of ultrasound, CT, MRI. *Vestnik RNCRR MZ RF* 2012; 12(4): http://vestnik.mcrr.ru/vestnik/v12/papers/fiodr_v12.htm (дата обращения 2.06.2016 г.) (In Russian)
8. Gervais D.A., McGovern F.J., Arellano R.S. et al. Radiofrequency ablation of renal cell carcinoma: part 1, Indications, results, and role in patient management over a 6-year period and ablation of 100 tumors. *Am. J. Roentgenol.* 2005; 185: 64–71.
9. Gervais D.A., Arellano R.S., McGovern F.J. et al. Radiofrequency ablation of renal cell carcinoma: part 2, Lessons learned with ablation of 100 tumors. *Am. J. Roentgenol.* 2005; 185: 72–80.
10. Wein W., Brunke S., Khamene A. et al. Automatic CT-ultrasound registration for diagnostic imaging and image-guided intervention. *J. Med. Image Analysis.* 2008; 12: 577–585.
11. Sandulescu D.L., Dumitrescu D., Rogoveanu I., Saftoiu A. Hybrid ultrasound imaging techniques (fusion imaging). *Wld J. Gastroenterol.* 2011; 17 (1): 49–52.
12. Di Mauro E., Solbiati M., De Beni S. et al. Virtual Navigator Real-Time Ultrasound Fusion Imaging with Positron Emission Tomography for Liver Interventions. Materials of 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS - Osaka, Japan, 3–7 July, 2013; <http://www.civco.com/mmi/resources/clinical-evidence/CPB-DiMauroVTRTUSFusionImagingwithPETforLiver> (дата обращения 2.06.2016 г.)
13. Prada F., Del Bene M., Mattei L. et al. Preoperative magnetic resonance and intraoperative ultrasound fusion imaging for real-time neuronavigation in brain tumor surgery. *Ultraschall Med.* 2015; 36 (2): 174–186.
14. Millischer A.E., Salomon L.J., Santulli P. et al. Fusion imaging for evaluation of deep infiltrating endometriosis: feasibility and preliminary results. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2015; 46 (1): 109–117.
15. Wong-On M., Til-P rez L., Balius R. Evaluation of MRI-US Fusion Technology in Sports-Related Musculoskeletal Injuries. *Adv. Ther.* 2015; 32 (6): 580–594.
16. Iagnocco A. et al. Magnetic resonance and ultrasonography real-time fusion imaging of the hand and wrist in osteoarthritis and rheumatoid arthritis. *Rheumatology.* 2011; 50: 1409–1413.
17. Seo J.-B., Yoo J.-S., Ryu J.-W. Sonoelastography findings of supraspinatus tendon in rotator cuff tendinopathy without tear: comparison with magnetic resonance images and conventional ultrasonography. *J. Ultrasound.* 2015; 18: 143–149.
18. Derchi L.E., Rizzato G. Technical Requirements. In: Bianchi S., Martinoli C. *Ultrasound of the Musculoskeletal System.* Springer-Verlag, 2007: 3–16.
19. Lalitha P., Reddy M.Ch., Reddy K.J. Musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience. *Korean J. Radiol.* 2011; 12: 365–375.
20. Botar-Jid C., Vasilescu D., Ducea S.M. et al. Ultrasound elastography in musculoskeletal disorders. *Ultraschall. Med.* 2008; 31 (1): 33–40.
21. Jid C.B., Vasilescu D., Damian L. et al. Musculoskeletal sonoelastography. Pictorial essay. *Med. Ultrasonography.* 2012; 14 (3): 239–245.
22. Galiano K., Obwegeser A.A., Bale R. et al. Ultrasound-guided and CT-navigation-assisted periarticular and facet joint injections in the lumbar and cervical spine: a new teaching tool to recognize the sonoanatomic pattern. *Reg. Anesth. Pain. Med.* 2007; 32: 254–257.
23. Klauser A.S., De Zordo T., Feuchtner G.M. et al. Fusion of real-time US with CT images to guide sacroiliac joint injection in vitro and in vivo. *Radiology.* 2010; 256 (2): 547–553.
24. Vollman A., Hulen R., Dulchavsky S., Pinchcofsky H. Educational Benefits of Fusing Magnetic Resonance Imaging with Sonograms. *J. Clin. Ultrasound.* 2014; 42 (5): 257–263.
25. Ostlere S. Imaging of prosthetic joints. *Imaging.* 2003; 15: 270–285.
26. Zacchino M., Calliada F. Ultrasound Image Fusion: A New Strategy to Reduce X-Ray Exposure During Image Guided Pain Therapies. Current Topics in Ionizing Radiation Research, Dr. Mitsuru Neno (Ed.) Croatia: InTech, 2012. 854 p.
27. Vanrusselt J., Vansevenant M., Vanderschueren G., Vanhoenacker F. Postoperative radiograph of the hip arthroplasty: what the radiologist should know. *Insights Imaging.* 2015; 6: 591–600.
28. Гажонова В.Е., Абельцев В.П. Возможности ультразвукового исследования в диагностике послеоперационных осложнений при эндопротезировании тазобедренного сустава. *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2016; 4: 119–123.
Gazhonova V.E., Abelcev V.P. Ultrasound diagnostics of the complications after hip replacement surgery. *Kremlevskaya meditsina. Clinicheskiy vestnik.* 2016; 4: 119–123. (In Russian)