

## Магнитно-резонансная томография в диагностике повреждений и заболеваний коленного сустава

С.П. Морозов, С.К. Терновой, А.И. Городниченко, М.В. Арцыбашева, П.А. Филистеев  
ФГУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ

Традиционно на протяжении нескольких десятилетий первичным диагностическим методом обследования пациентов с жалобами на боль в области коленного сустава являлась рентгенография. Бурное развитие методов лучевой диагностики на протяжении последних 20 лет привело к кардинальному пересмотру диагностических алгоритмов — магнитно-резонансная томография (МРТ) заняла основное место в ряду диагностических исследований, назначаемых таким пациентам. Это связано с тем, что МРТ обладает высокой мягкотканой контрастностью и позволяет проводить исследование в любых плоскостях с учетом анатомических особенностей пациента (включая трехмерные изображения). Более того, МРТ является единственным методом неинвазивной диагностики, обладающим высокой чувствительностью и специфичностью при выявлении отека и инфильтрации костной ткани. Основным показанием для обследования методом МРТ является подозрение на повреждение внутренних структур (хряща, связок, сухожилий, менисков) коленного сустава различной этиологии. По данным множества контролируемых исследований было показано, что ценность клинического обследования существенно увеличивается, особенно при диагностике разрывов менисков. С началом применения МРТ точность выявления разрывов связок и менисков достигла более чем 90—95%. В целом, исследование коленного сустава занимает третье место по частоте применения метода МРТ, уступая только исследованиям головного мозга и позвоночника. Рентгенография в настоящее время не утратила своей значимости в оценке сужения суставной щели, линейности костей, выявлении переломов и костных опухолей. Наличие рентгенограмм является необходимым условием правильной интерпретации результатов МРТ.

Необходимо отметить, что применение МРТ в алгоритме обследования пациентов с болью в области коленного сустава повышает общую стоимость диагностики и лечения на 30—40%, однако снижает потребность в инвазивной артроскопии и существенно уменьшает длительность случая заболевания (на 25—30%). Кроме того, МРТ, выполненная с высокой информативностью, позволяет определить потребность в проведении хирургического лечения (с точностью до 90%) и уменьшить количество ненужных вмешательств.

### Современная методика МРТ коленного сустава

Традиционно считается, что исследования коленного сустава методом МРТ могут проводиться на низкопольных томографах. Компактность низкопольных томографов и наличие на рынке ортопедических аппаратов (предназначенных только для обследования крупных суставов) делает их привлекательными для установки в

специализированных центрах травматологии и ортопедии. Однако низкое пространственное разрешение томограмм, полученных в условиях низкой напряженности магнитного поля, затрудняет оценку мелких внутрисуставных структур (связки, хрящи, нервы) и ограниченных повреждений коленного сустава (например, краевые разрывы менисков, частичные разрывы связок). Поэтому в последние годы предпочтения клиницистов и специалистов по лучевой диагностике стали смещаться в пользу высокопольных томографов, предоставляющих возможность диагностики с точностью, приближающейся к точности артроскопии. Высокие диагностические возможности 3,0-тесловой МРТ обусловлены возросшим соотношением сигнал/шум по сравнению с 1,5-тесловой МРТ, возможностью использования контрастных препаратов в меньшей концентрации, улучшением пространственного разрешения. Например, по различным данным, диагностическая точность 3,0-тесловой МРТ достоверно превосходит 1,5-тесловую МРТ в обнаружении повреждений хряща. Производители медицинского оборудования отреагировали на эти тенденции выпуском высокопольных ортопедических томографов, а низкопольные ортопедические томографы последнего поколения были дополнены возможностью проведения обследований с осевой нагрузкой при вертикальном положении пациента (стоя).

МРТ коленного сустава на высокопольном аппарате обычно проводится в положении пациента лежа на спине. Коленный сустав находится в слегка согнутом состоянии ( $10^\circ$ ) при небольшой наружной ротации ноги ( $15\text{--}20^\circ$ ). У пациентов с подозрением на разрывы связок или после реконструкции передней крестообразной связки обследование должно проводиться при максимальном разгибании в коленном суставе (для растяжения связок). Длительность исследования обычно составляет от 20 до 40 минут в зависимости от клинической картины и цели исследования. Залогом качественного обследования с минимальной выраженностью артефактов от движения является удобное положение пациента и при необходимости — адекватное обезболивание.

Все производители МР-томографов предлагают цилиндрические специализированные коленные катушки, позволяющие получить томограммы одного коленного сустава с высоким пространственным разрешением и соотношением сигнал/шум. Для обследования полных пациентов могут применяться гибкие катушки, оборачиваемые вокруг коленного сустава.

### Протоколы обследования методом МРТ

Магнитно-резонансная томография обладает огромным спектром методологических особенностей, поэтому

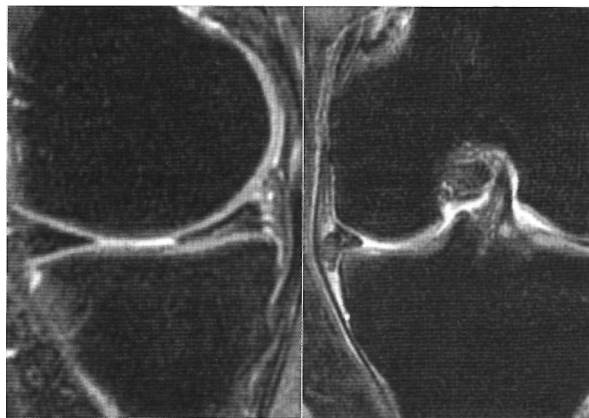
единого протокола проведения обследования не существует. Широко распространенным подходом является получение T1- и T2-взвешенных фронтальных и сагиттальных томограмм с толщиной среза около 3–4 мм, достаточных для выявления грубых патологических изменений коленного сустава. Однако специфичность такого протокола недостаточна для дифференциальной диагностики полных и неполных разрывов связок, внутренних повреждений и разрывов менисков. Как следствие, существует множество рекомендаций по выполнению специализированной МРТ коленного сустава. Так, например, применение протонно-взвешенных томограмм позволяет исключить диагноз внутреннего повреждения мениска, но только T2-взвешенные томограммы дают возможность подтвердить диагноз частичного разрыва связки или мениска в сомнительных случаях. В последнее время общепринятым стандартом становится использование T2-взвешенных томограмм в трех плоскостях с подавлением сигнала от жировой ткани, высокочувствительных к отеку губчатой кости и мягких тканей. Оптимальная визуализация суставного хряща достигается с помощью градиентных томограмм (в т.ч. трехмерных с подавлением сигнала от жировой ткани), позволяющих четко дифференцировать гиалиновый хрящ, внутрисуставную жидкость и прилежащую жировую ткань.

Томография в сагиттальной и фронтальной плоскости должна дополняться аксиальными изображениями. Это позволяет оценить состояние хряща надколенника у пациентов, предъявляющих жалобы на боль в передних отделах сустава (например, вследствие развития хондромалиции). Поперечные томограммы также необходимы для оценки формы надколенника, степени развития его фасеток и целостности поддерживающих связок надколенника у пациентов с его вывихом. Необходимо добавить, что и сам подвывих или вывих надколенника зачастую не выявляется никаким иным способом кроме МРТ, что приводит к повторным дислокациям уже после хирургического вмешательства. У пациентов с кистами подколенной ямки (киста Бейкера) томограммы в поперечной плоскости необходимы для выявления их связи с суставной полостью, а при наличии дополнительных синовиальных складок (например, медиопателлярной) — для определения степени захождения складки в пателло-фemorальный сустав и выявления ее гипертрофии или постконтузионных изменений. При подозрении на повреждение передней крестообразной связки необходимо получить изображения в наклонной плоскости по ходу связки, позволяющие визуализировать отдельные волокна на всем протяжении.

В целом, необходимо отметить, что точность диагностики повреждений коленного сустава с помощью МРТ определяется как протоколом обследования, так и знаниями, квалификацией и опытом специалиста по лучевой диагностике. Обязательным условием точности обследования методом МРТ является наличие клинической информации о состоянии коленного сустава и предварительного диагноза, поставленного травматологом-ортопедом. Только в этом случае специалист по лучевой диагностике может грамотно идентифицировать и интерпретировать патологические изменения коленного сустава.

#### Диагностика разрывов менисков методом МРТ

Нормальные мениски характеризуются правильной формой, ровными контурами и однородно низкой ин-

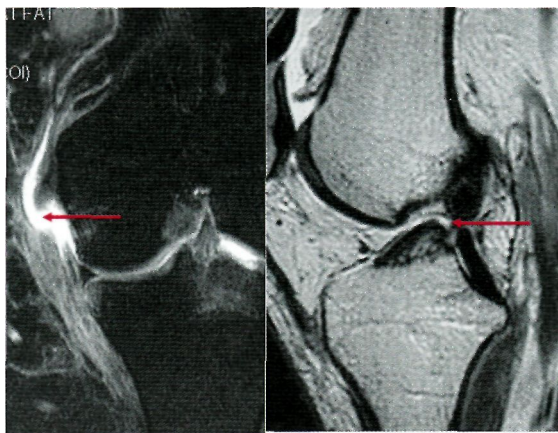


**Рис. 1. МРТ коленного сустава при разрыве мениска. Пациент обратился для проведения МРТ в связи с наличием боли в медиальных отделах коленного сустава. При исследовании выявляется повышение интенсивности сигнала от мениска (слева) с наличием симптомов усеченности и смещения мениска (справа), что соответствует нестабильному разрыву.**

тенсивностью сигнала. МРТ позволяет достоверно определять степень повреждения мениска (от муцинозной дегенерации до разрыва и фрагментации), дифференцировать дегенеративные и посттравматические разрывы и устанавливать конфигурацию разрыва (горизонтальный, вертикальный, косой, разрыв по типу «ручки лейки», менискокапсулярная сепарация и др.). Заключение о разрыве мениска обычно делается в том случае, если линейная зона повышенной интенсивности сигнала выходит на суставную поверхность мениска (рис. 1). Только такие разрывы менисков являются нестабильными и, соответственно, требуют оперативного лечения. Подтверждением наличия разрыва является его выявление на нескольких последовательных срезах или на томограммах в ортогональных плоскостях, а также выявление смещенного фрагмента мениска (часто у пациентов с блокадой сустава). Выявление периферических разрывов и разрывов нижней поверхности заднего рога медиального мениска крайне необходимо для планирования артроскопического вмешательства. Косвенным признаком разрыва мениска является выявление параменисковой кисты или смещения тела мениска кнаружи за пределы суставной щели. Частой диагностической ошибкой является недооценка и пропуск разрывов, видимых только в одной плоскости томографии. Характеристики разрыва мениска (локализация, форма, протяженность) позволяют хирургу-ортопеду принять решение о возможности сшивания мениска или необходимости выполнения резекции.

#### Диагностика разрывов связок и сухожилий методом МРТ

Выявление повреждений связок коленного сустава — одна из самых частых, но и наиболее сложных задач МРТ. У пациентов с полным разрывом связки МР-признаки обычно достаточно убедительны, но при наличии частичного или субсиновиального разрыва картина зачастую бывает неоднозначной. В таких случаях точность обследования методом МРТ составляет 50–80% и зависит от квалификации специалиста по лучевой диагностике, протокола МРТ и, наконец, существования постоянного информационного контакта между отделениями ортопедии и лучевой диагностики.



**Рис. 2. МРТ коленного сустава при разрывах связок. Наиболее часто травматическому разрыву подвергаются внутренняя боковая связка (слева) и передняя крестообразная связка (справа). Представлены полные разрывы указанных связок (стрелки).**

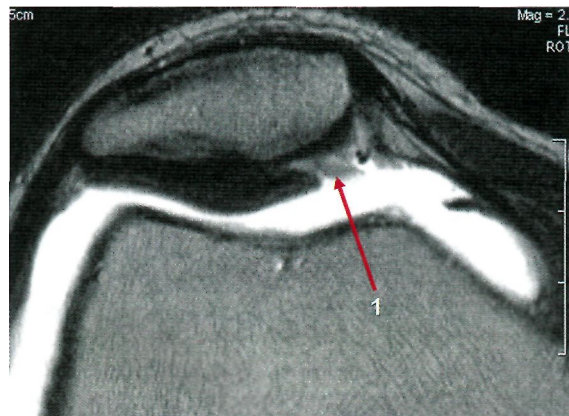
Прямыми признаками разрыва связки, по данным МРТ, являются ее полный или частичный перерыв, конфигурация по типу аморфной массы (рис. 2), визуализация смещенной культы. Косвенные признаки разрывов включают извитой ход связки, выраженную отечность, типичное расположение зон ушиба костей или компрессионные переломы костей, деформацию других связок (угловая деформация задней крестообразной связки при разрыве передней крестообразной связки), подвывих в суставе.

Специфичность клинических симптомов у пациентов с разрывом передней крестообразной связки достигает 100%, поэтому отрицательный результат МРТ при подозрении на разрыв этой связки не может являться основанием для отклонения диагноза. По этой же причине у пациента с клиническими симптомами разрыва передней крестообразной связки попытка дифференциации частичного или полного разрыва по МР-признакам нецелесообразна. В острой фазе травмы оценка клинических симптомов может быть невозможна, и тогда значение МРТ существенно возрастает.

Огромное значение имеет оценка медиальной коллатеральной связки, так как клинические симптомы не позволяют дифференцировать разрывы этой связки и медиального мениска. Также МРТ играет важную роль в обследовании пациентов с болью в переднем отделе коленного сустава, в т.ч. для выявления признаков тендинита надколенника (синдром перетренированности, или «колени прыгуна») и для его дифференциальной диагностики с пателло-фemorальным остеоартрозом, хондромалацией надколенника и синдромом медиопателлярной складки.

#### Диагностика повреждений суставного хряща методом МРТ

Диагностические возможности артроскопии превосходят возможности МРТ в выявлении и стадировании повреждений суставного хряща при остеоартрозе, хондромалации надколенника, остеохондральных повреждениях (рис. 3). МРТ позволяет выявить диффузное и локальное истончение суставного хряща (в т.ч. с формированием кратера и реактивным отеком субхондральной кости), но часто пропускает I стадию хондромалации (размягчение хряща), хорошо выявляемую артроскопически. В целом ряде исследований было показано, что при оценке сус-

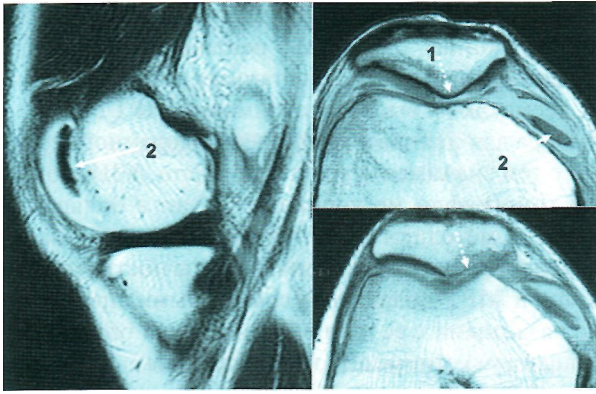


**Рис. 3. МРТ коленного сустава при хондромалации. Визуализируется участок размягчения суставного хряща надколенника при хондромалации III степени, соответствующий изменениям по типу «крабового мяса» при артроскопии.**

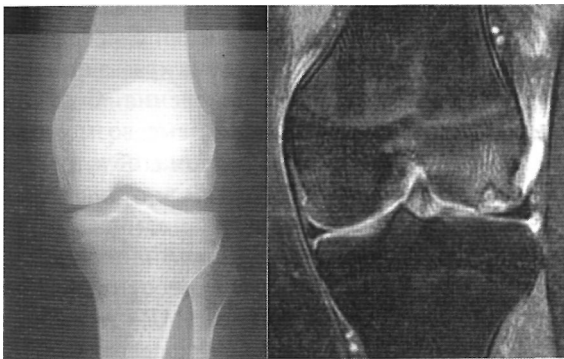
тавного хряща для МРТ характерна высокая частота ложноположительных результатов, связанных с вариантами нормального строения хряща и распространенностью слабо выраженных артефактов (особенно на трехмерных градиентных томограммах), принимаемых за повреждения. У пациентов с остеоартрозом МРТ позволяет выявить и охарактеризовать остеофиты, зоны субхондрального склероза и субхондральные кисты, сочетанные повреждения связок и менисков. У пациентов с остеоартрозом МРТ обычно проводится перед операцией эндопротезирования коленного сустава. Все большую актуальность приобретает использование цветового МР-картирования суставного хряща для определения эффективности медикаментозного лечения артроза.

#### Диагностика повреждений губчатой кости методом МРТ

Выявление контузии губчатой кости и отека костного мозга с помощью МРТ (на T2-взвешенных изображениях с подавлением сигнала от жировой ткани) является очень важным симптомом, с одной стороны, позволяющим объяснить боль в области колена при отсутствии каких-либо иных изменений, а с другой — косвенно подтвердить повреждение внутренних структур сустава при неясной МР-картине. Локализация контузии костного мозга при тупой травме соответствует участку воздействия, а при повреждениях связок — участкам соударения костей в момент подвывиха. Фактически посттравматический отек костного мозга соответствует рентгенологически открытому микроперелому, однако более благоприятный прогноз восстановления в первом случае не позволяет использовать при описании такой термин как, например, «трабекулярный перелом». Полное восстановление физической активности при изолированном отеке костного мозга эпифизов бедренной или большеберцовой костей без повреждения связок или менисков происходит через 2–3 месяца при условии иммобилизации или ограничения нагрузки на поврежденную кость. Вовлечение субхондральных отделов кости в зону отека повышает риск повреждения суставного хряща (особенно у спортсменов, продолжающих тренировки). МРТ превосходит рентгенографию в выявлении вдавленных, или компрессионных переломов, сопровождающихся выраженным отеком костного мозга (рис. 4, 5). Напротив, при авульсионных переломах результат МРТ может быть



**Рис. 4.** МРТ коленного сустава при хрящевом переломе надколенника. При исследовании определяются зоны отека губчатой кости медиальной фасетки надколенника и латерального мыщелка бедра, свидетельствующие о состоявшейся дислокации надколенника. Также определяется дефект хряща надколенника (1) и сформировавшееся свободное хондромное тело (2), что соответствует хрящевому перелому.



**Рис. 5.** Рентгенограмма и МРТ коленного сустава при импрессионном переломе. Обращает на себя внимание минимальное вдавление кортикальной пластинки по данным рентгенографии и наличие глубокого дефекта латерального мыщелка бедра с перифокальным отеком по данным МРТ.

отрицательным в силу слабой выраженности отека костного мозга. МРТ также позволяет выявить линию рентгенологически скрытого перелома, но для подтверждения диагноза в таких случаях должна использоваться компьютерная томография.

У пациентов с рассекающим остеохондритом с помощью МРТ возможно оценить стабильность остеохондрального фрагмента, являющуюся критерием выбора метода лечения. Точность МРТ в этой ситуации составляет около 90%, приближаясь к 100% при использовании МР-артрографии. При остеонекрозе мыщелка МРТ является методом ранней диагностики, намного опережая рентгенологические признаки и позволяя определить прогноз заболевания.

#### Бурсит и кисты в области коленного сустава

МРТ позволяет точно выявлять и локализовать синовиальные кисты в области коленного сустава (в т.ч. кисту Бейкера) и определять их связь с суставной полостью. Более того, МРТ дает возможность дифференцировать синовиальные кисты от аневризм подколенной артерии, гематом, варикозно-расширенных вен, мягкотканых опухолей. Нормальные суставные сумки не визуализируются с помощью МРТ. Напротив, бурситы различной локализации (в т.ч. в области «гусиной лапки» или препателлярный) прекрасно диагностируются. При хроническом

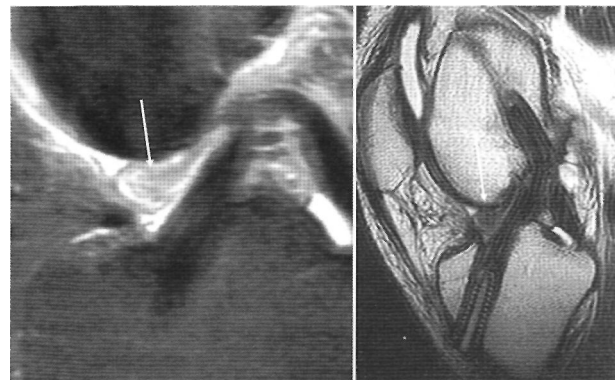
бурсите выявляется утолщение стенки и неоднородное содержимое. Суставной выпот или гематома оптимально визуализируется с помощью МР-томограмм в режиме «гидрографии». Липогемартроз, формирующийся при контузии костного мозга или переломе в сочетании с нарушением целостности кортикальной пластинки, имеет типичные МР-характеристики двухуровневого жидкостного содержимого. Возможности МРТ в выявлении дополнительных синовиальных складок, наиболее значимой из которых является медиопателлярная, повышаются при наличии суставного выпота.

#### Обследования оперированного коленного сустава

Традиционное представление о невозможности проведения МРТ у оперированных пациентов (особенно с использованием металлических материалов) в настоящее время является ошибочным. Хирургические материалы, используемые в настоящее время при ортопедических операциях, не должны рассматриваться в качестве абсолютных противопоказаний к МРТ, однако могут быть источником выраженных артефактов, затрудняющих исследование. С началом использования в ортопедии немагнитных хирургических материалов информативность оценки состояния коленного сустава методом МРТ у оперированных пациентов существенно повысилась (рис. 6). Напротив, возможности рентгенологического исследования оказались недостаточными с началом использования при артроскопических операциях аутотрансплантатов и биорассасывающихся интерференц-шурупов.

Выявление нового разрыва мениска при повторной травме колена на фоне послеоперационных изменений (сшивание, резекция, менискэктомия), дифференциация фиброзно-рубцовой ткани и остаточной ткани мениска являются трудными задачами. Высокой эффективностью диагностики повторных разрывов ранее оперированных менисков характеризуется МР-артрография с внутрисуставным введением гадолинийсодержащего контрастного препарата. У пациентов, ранее перенесших рефиксацию костно-хрящевых фрагментов (при некрозе мыщелка бедра) или остеохондральную аутотрансплантацию, степень выраженности послеоперационных изменений зачастую является минимальной.

У пациентов, перенесших реконструкцию передней крестообразной связки, МРТ позволяет выполнить ком-



**Рис. 6.** МРТ коленного сустава после операции аутотрансплантации передней крестообразной связки. У пациента с жалобами на невозможность полного разгибания в суставе после операции выявляется участок локализованного артрофиброза по передней поверхности аутотрансплантата передней крестообразной связки (стрелки).

плексную оценку состояния коленного сустава (расположение костных каналов и интерференц-шуропов, оценка аутотрансплантата ПКС и мест его забора, выявление остеолиза). Показаниями для проведения МРТ после реконструктивных операций на связках коленного сустава являются боль в области коленного сустава или нестабильность, инфекционные осложнения, клиническое подозрение на разрыв трансплантата, повторная травма. Дифференциация нормальной лигаментизации аутотрансплантата связки, «импинджмент»-синдрома, частичного и полного разрывов (см. рис. 5) является сложной диагностической задачей, требующей хорошего знания техники оперативной реконструкции передней крестообразной связки.

### Ограничения МРТ

Большинство диагностических ошибок МРТ связано с неправильной интерпретацией томограмм. Так, варианты нормального строения и расположения внутрисуставных связок (поперечная связка, сухожилие подколенной мышцы) очень часто принимаются за разрывы менисков. Зоны васкуляризации периферических отделов менисков часто трактуются как дегенеративные или постконтузионные изменения. Так же как и в классической рентгенологии, сегментарное строение надколенника может интерпретироваться как перелом, а сесамовидные кости (фабелла) — как свободные суставные тела или отломки. Согласно исследованиям варибельности результатов врачебных МРТ точность метода варьирует от 55 до 95%, причем результат практически не зависит от характеристик МР-томографа. Развитие методик артроскопических операций и повышение требований травматологов-ортопедов к правильной постановке предоперационного диагноза постепенно приводит к выделению костно-суставной радиологии в отдельную специальность и требует специализированной подготовки врачей-рентгенологов.

### Заклучение

Для оценки состояния коленного сустава в настоящее время продолжают использоваться рентгенография, компьютерная томография, ультразвуковое исследование, однако ни один из этих методов не позволяет достоверно оценить внутренние структуры сустава. МРТ является единственным методом, позволяющим провести комплексную оценку как внутри- и околосуставных

соединительнотканых структур, так и костной ткани (постконтузионная отечность, рентгенологически скрытые переломы) и выявить сочетанные повреждения. Поэтому, несмотря на высокую стоимость, МРТ стала методом выбора для неинвазивной оценки коленного сустава. Вместе с тем значимость рентгенографии, УЗИ, компьютерной томографии не уменьшается, но в большинстве случаев эти методики имеют второстепенное значение для диагностики. По сравнению с диагностической артроскопией МРТ обладает несомненными преимуществами, связанными с ее неинвазивностью и оптимальным соотношением стоимость/эффективность. Расширение показаний к применению МРТ у пациентов с болью в области коленного сустава приводит к постепенному сокращению потребности в диагностической артроскопии и более рациональному и целенаправленному применению артроскопических операций.

Основные перспективы развития МР-томографии связаны с появлением новых методик, таких, как T2-картирование суставного хряща, кинематическая МРТ, диффузионная томография. Так, например, благодаря определению начальных стадий поражения хряща при артрозе станет возможной раннее начало лечения. С развитием кинематической МРТ откроются новые возможности в диагностике причин болевого синдрома, обусловленного определенным соотношением костей в суставе при движении. Диффузионная томография позволит улучшить дифференциацию доброкачественных и злокачественных изменений костной ткани посредством оценки клеточной плотности. Таким образом, развитие МРТ и костно-суставной радиологии продолжается, что вселяет надежду на дальнейшее улучшение результатов лечения пациентов.

### Литература

1. Bauer J.S., Krause S.J., Ross C.J. et al. // *Radiology*. - 2007. - Vol. 241, № 2. - P. 399-406.
2. Bolog N., Nanz D., Weishaupt D. // *Eur Radiol*. - 2006. - Vol. 16.-P. 1299-1307.
3. Bridgman S., Richards P. J., Walley G.etal. // *Arthroscopy*. -2007. -Vol. 23, №11. -P. 1167-1173.
4. Link T.M., Stahl R., Woertler K. // *Eur Radiol*. , 2007. -Vol. 17.-P. 1135-1146.