

Федеральное агентство по высокотехнологичной
медицинской помощи
Федеральное государственное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт
травматологии и ортопедии им.Р.Р.Вредена
Федерального агентства по высокотехнологичной
медицинской помощи»
(ФГУ «РНИИТО им. Р.Р.Вредена Росмедтехнологий»)
197046, Санкт-Петербург, Александровский парк, д.5

**Применение магнитно-резонансной томографии
при травме коленного сустава**
(медицинская технология)

Санкт-Петербург

Аннотация

Медицинская технология относится к лучевой диагностике в травматологии и может применяться для исследования состояния коленного сустава после травм. Точная диагностика позволяет правильно сделать выбор лечения, объём хирургического вмешательства, осуществить ближайший и отдалённый контроль эффективности лечения. Технология включает описание проблем, связанных с точной диагностикой разрывов менисков и связок, показания и противопоказания к применению магнитно-резонансной томографии (МРТ), методические аспекты выполнения МРТ, трактовку полученных результатов и надёжность данных.

Технология предназначена для врачей-рентгенологов.

Заявители:

ФГУ «РНИИТО им.Р. Р.Вредена Росмедтехнологий»
ГОУ ДПО СПб МАПО Росздрава

Автор: д.м.н. профессор Холин А.В.

Рецензенты:

д.м.н. профессор Мазур В.Г., заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии «СПб ПМА Росздрава»,

д.м.н. профессор Минько Б.А., главный научный сотрудник ФГУ «ЦНИРРИ Росмедтехнологий»,

д.м.н. профессор Морозов А.К., заведующий отделением лучевой диагностики ФГУ «ЦИТО им. Н.Н. Приорова Росмедтехнологий».

Введение

Повреждения коленного сустава встречаются относительно часто. Примерно половина всех случаев составляет спортивная травма. Повреждения мениска клинически проявляются в виде патологической подвижности, «блокад» и щелчков. Подвижность и ограничения в движении определяются с помощью клинических тестов. В целом точность клинической диагностики самого факта повреждения мениска составляет 70-90%, но для выбора тактики лечения необходима детализация. Только в 18-20% случаев разрыв менисков происходит без разрывов связок. Разрыв передней крестообразной связки (ПКС) в 90% выявляется клиническими методами, травмы задней крестообразной связки (ЗКС) по клиническим признакам диагностируются хуже. Частота разрывов ЗКС составляет 3-20% от повреждений коленного сустава. Изолированные разрывы ЗКС встречаются только в 3% случаев. У 65% пациентов разрыв ЗКС сочетается с разрывом ПКС, у 30% - с медиальным мениском и медиальной коллатеральной связкой.

Лучевая диагностика необходима для подтверждения разрывов менисков и связок, выявления сопутствующих травматических изменений и уточнения локализации и степени повреждения.

До появления неинвазивных методик распространённым методом лучевой диагностики повреждений коленного сустава была артрография, являющаяся довольно точным методом для диагностики разрывов менисков, но требующая введения в сустав йодного контрастного вещества. Поэтому сейчас она применяется исключительно редко, когда имеются противопоказания к выполнению магнитно-резонансной томографии (МРТ). Альтернативой классической рентгеновской артрографии может быть КТ-артрография [30]. Однако она также имеет своим недостатком необходимость введения контрастного вещества. Появление мультиспиральной КТ открыло возможность для использования виртуальной артроскопии [15]. Этот метод, несомненно, в

дальнейшем будет развиваться, но пока он не конкурирует с хорошо зарекомендовавшей себя МРТ. Считается, что МРТ позволяет в 2 раза сократить число артроскопий. Предлагаемая технология является усовершенствованной.

Анатомия менисков и связок

Мениск – важный элемент стабильности сустава, распределения и поглощения нагрузки, смазки и питания суставного хряща. Повреждения менисков чаще всего наблюдаются у спортсменов. Мениск представляет собой С-образную фиброзно-хрящевую структуру, прикрепленную к мыщелковым поверхностям большеберцовой кости. Концы «С» направлены к центру, верхняя поверхность мениска вогнутая, что улучшает контакт с головкой бедренной кости. Нижняя поверхность мениска плоская. Наружная часть мениска выпуклая и толще центральной. Толстая внешняя часть мениска даёт возможность плотного его прилегания к суставной капсуле. У детей мениск имеет сосуды. Большая часть мениска у взрослых – бессосудистое образование, и только самая периферическая часть имеет сосуды. Высота мениска в норме 3-5 мм. Делится мениск на передний рог, тело и задний рог.

Медиальный мениск

Медиальный мениск (ММ) больше латерального (ЛМ), имеет форму лунного серпа, занимает около 50% суставной поверхности медиального отдела сустава. Задний рог ММ толще заднего рога ЛМ. В ширину ММ составляет от 6 мм в области переднего рога до 12 мм в области заднего рога. Поперечная (межменисковая) связка соединяет передние рога ММ и ЛМ. У 40% людей она отсутствует. ММ прочнее связан с капсулой сустава, чем ЛМ, что делает его более подверженным травмам. Задний рог связан с большеберцовой костью посредством менискотибиальной связки. Соединение крепится в области межмышцелковой ямки между местом прикрепления задней крестообразной связки сзади и задним рогом ЛМ спереди.

Периферия ММ крепится к капсуле сустава по всей длине. Большеберцовая часть соединения капсулы сустава с ММ называется венечной связкой (lig.coronalis). В средней части ММ утолщен. Он плотно связан с большой и малой берцовой костями посредством утолщения суставной капсулы, называемой коллатеральной связкой. У 11% людей передний рог связан не с большеберцовой костью, а прямо с поперечной связкой или передней крестообразной связкой.

Латеральный мениск

ЛМ более округлый, чем медиальный и покрывает большую часть (70%) плато большеберцовой кости. Он более равномерный по ширине, чем ММ, примерно 10 мм. По заднелатеральному краю ЛМ имеет подколенный вырез, через который проходит сухожилие. ЛМ прикрепляется к латеральному краю медиального мыщелка бедренной кости посредством мениско-фemorальных связок – связки Ризберга (тонкая, расположена кзади от задней крестообразной связки) и связки Хамфри (кпереди от ЗКС и вполовину тоньше). Обе они берут начало от заднего рога ЛМ.

Передний рог ЛМ прикрепляется в области межменискового выступа. ЛМ свободно связан с капсулой сустава и не прикреплен к латеральной коллатеральной связке, в отличие от ММ, прикрепленного к медиальной коллатеральной связке. ЛМ связан с подколенным сухожилием, что обеспечивает ротационное движение в суставе. Переднезадняя подвижность ЛМ составляет около 1 см, что делает его травмы менее вероятными, чем ММ. У 1-4% людей встречается мениско-менисковая связка. Она соединяет передний рог одного мениска с задним рогом другого.

Кровоснабжение и иннервация

Мениски кровоснабжаются из верхней, средней и нижней коленчатых артерий, ММ – из правой, ЛМ – из левой. Центральная треть менисков лишена иннервации, которая имеется только в рогах.

Дисковидные мениски

Дисковидные мениски (ДМ) – это диспластическое их состояние, встречающееся у 1,4-15,5% людей. Часто ДМ сочетается и с другими костно-суставными аномалиями. Обычно наблюдаются двухстороннее ДМ или дисковидный ЛМ. Форма их полулунная, а не серповидная, как в норме, они толще обычных менисков. Критерий ДМ на МРТ – горизонтальный диаметр тела мениска на корональных срезах при измерении от капсулы до свободного края больше 13-15 мм. ДМ бывает полным и неполным, что определяется только морфологически.

Крестообразные и коллатеральные связки

Крестообразные связки расположены внутри сустава, но экстрасиновиально. ПКС начинается от заднемедиального края латерального мыщелка бедренной кости и проходит через латеральную межмыщелковую вырезку в передненижнее-медиальном направлении. ПКС прикрепляется к большеберцовой кости примерно на 23 мм кзади от её переднего края, сразу кпереди и латеральнее медиального межмыщелкового выступа. Длина ПКС – около 3,5 см, диаметр – около 1 см.

ЗКС начинается от латеральной поверхности медиального мыщелка бедренной кости и крепится к суставной поверхности плато большеберцовой кости. Как и ПКС, она расположена внутри сустава, но вне синовиальной оболочки. ЗКС состоит из 2 пучков – заднелатерального и заднемедиального. Связка в 2 раза мощнее ПКС и тесно связана с мениско-фemorальными связками (Ризберга и Хамфри).

Медиальная коллатеральная связка (МКС) и латеральная коллатеральная связка (ЛКС) служат структурами, поддерживающими сустав. МКС начинается от медиального надмыщелка бедренной кости на 5 см выше сустава и прикрепляется к медиальному метафизу большеберцовой кости на 6-7 см ниже сустава. Связка имеет длину 8-11 см и ширину 10-15 мм. ЛКС начинается от

латерального надмыщелка бедренной кости и прикрепляется к головке малой берцовой кости вместе с сухожилием двуглавой мышцы бедра. Она имеет длину 5-7 см, расположена вне капсулы и не прикреплена к менискам.

Показания к использованию медицинской технологии

Показаниями к использованию МРТ при травме коленного сустава служат:

- острая травма коленного сустава с клиническим подозрением на разрыв мениска (менисков) и (или) связок;
- рецидивные боли у пациентов оперированных по поводу травмы коленного сустава.

Противопоказания к использованию медицинской технологии

- Абсолютным противопоказанием является наличие у пациента искусственного водителя сердечного ритма.
- Относительным противопоказанием является металлическая стружка в глазном яблоке и имплантаты, такие как винты, из парамагнитных сплавов.

Материально-техническое обеспечение медицинской технологии

Магнитно-резонансный томограф любого производителя при наличии специализированной приёмной катушки для исследования коленного сустава.

Наилучшими возможностями обладают аппараты с высокой индукцией магнитного поля и сфазированной приёмной катушкой. В редких случаях, когда пациент не в состоянии вытянуть ногу, можно проводить исследование с гибкой катушкой или сфазированной катушкой для исследования туловища.

Описание технологии

МРТ при острой травме

Методика. Исследование проводится в положении пациента на спине, ноги помещаются в магнит, а голова остаётся снаружи. Травмированная нога располагается внутри радиочастотной катушки с центрацией на середину надколенника (рис. 1), а здоровая остаётся параллельно ей. Для наилучшей визуализации крестообразных связок придаётся небольшая ($10 - 15^\circ$) ротация исследуемой ноги наружу и сгиб в колене до 30° с помощью небольшого валика.

Радиочастотная катушка для исследования колена за счёт оптимизированного отношения сигнал-шум даёт возможность выбрать маленькое (16 см и меньше) поле видения (FOV) и максимальную матрицу. Это обеспечивает наименьшую величину пиксела, или иначе, пространственную разрешающую способность. Срезы также желательно делать тонкими (меньше 5 мм), что зависит от нескольких факторов, в том числе и магнитной индукции («силы поля») томографа. Число срезов должно быть достаточным для покрытия всего сустава. Для исследования достаточно сагиттальной (рис. 2) и корональной плоскостей, но аксиальная плоскость в ряде случаев может расширить информацию о состоянии межмышечковой крыши и проксимальной части ПКС.

Основной в исследовании разрывов менисков является последовательность, отражающая протонную плотность (ПП), а для выявления разрывов связок необходимы также и T2-зависимые (взвешенные) томограммы. T1-зависимые томограммы мы не считаем необходимым рутинно использовать. Подавление сигнала от жира улучшает выявляемость костной травмы и разрывов коллатеральных связок. Выбор импульсных последовательностей во многом зависит от возможностей аппарата, как правило, это ускоренные спин-

эхо (turboSE и её акронимы). 3D- градиентные последовательности, хотя и дают возможность MPR-реконструкции, имеют, с нашей точки зрения, худшую контрастность. Учитывая современные технические возможности высокопольных аппаратов, мы предлагаем следующий протокол (таблица). Время сканирования в каждой из плоскостей составляет чуть больше 4 минут. Данный протокол может быть немного модифицирован (выбор TR, TE, ETL, числа повторений) для конкретного кабинета МРТ с учётом технических особенностей аппарата. Сохраняется неизменным принципиальный алгоритм.

Нормальная анатомия менисков в МР изображении. В сагиттальной плоскости на центральных срезах мениск состоит из двух треугольных структур – переднего и заднего рогов (рис. 3). Верхушки треугольников обращены внутрь, то есть друг к другу. С латеральной стороны передний и задний рога одинаковые по размерам, а с медиальной стороны задний рог больше латерального. По периферии (то есть медиально по отношению к ММ и латерально по отношению к ЛМ) мениски имеют форму галстука-бабочки. Узкая средняя часть, прикреплённая к плато большеберцовой кости, называется корнем. В корональной плоскости лучше видно тело мениска. Рога выглядят уплощёнными. Корень заднего рога ЛМ направлен косо вверх в латерально-медиальном направлении.

Сигнал от менисков однородный и низкий как на T1-, так и на T2-взвешенных изображениях. Это объясняется незначительным содержанием свободных протонов в ткани мениска. У детей встречается участок немного повышенного сигнала в задних рогах, что, по-видимому, связано с ещё имеющейся васкуляризацией.

Дегенеративные изменения в менисках. С возрастом в ткани менисков увеличивается подвижность молекул воды, что приводит к увеличению сигнала на T2-взвешенных томограммах. На этом основании создана [25] классификация дегенеративных изменений.

Степень 1 - увеличение сигнала внутри мениска.

Степень 2 - горизонтальная линия увеличенного сигнала, обычно наблюдается в заднем роге ММ.

Вариант 2С – имеется распространение до суставной поверхности только на одном срезе.

Степень 3 - горизонтальная линия идёт до суставной поверхности.

Кроме изменений сигнала, мениск может подвергнуться хондрокальцинозу. Хондрокальциноз – это кальцификация менисков, хряща, синовии. Встречается при подагре, дегенеративных процессах, гемохроматозе и гиперкальциемии. Ещё одним типом дегенеративных изменений могут быть кисты менисков, которые возникают у 1 – 8% людей, чаще в медиальном отделе ММ, обычно вблизи заднего рога. Кисты ЛМ встречаются вдвое реже и обычно вблизи переднего рога.

Нормальная анатомия крестообразных связок в МР изображении. В сагиттальной плоскости ПКС видна лучше всего, она прямая, может состоять из пучков (до 4), выглядит светлее ЗКС (рис. 4). Толщина связки может быть различной, но обычно 3 – 4 мм. Поэтому связка целиком попадает только в один из сагиттальных срезов. В коронарной плоскости ПКС расположена латеральнее ЗКС в межмышцелковой вырезке бедренной кости. В аксиальной плоскости она прилежит к латеральной стенке верхней межмышцелковой вырезки и уходит вниз и медиально. ЗКС на МРТ темнее ПКС и более однородная по сигналу (рис. 5). Она расположена медиальнее ПКС. Связка Хамфри идёт кпереди от ЗКС, а связка Ризберга – сзади. В сагиттальной плоскости ЗКС имеет характерную форму, по ходу сверху вниз она образует угол – «колени».

Диагностическое заключение о разрывах менисков должно содержать:

- факт повреждения;
- тип повреждения;

- локализацию повреждения;
- протяжённость повреждения.

Критериями разрывов менисков служат:

- повышенный сигнал внутри мениска (рис. 6), который должен быть связан с одной из суставных поверхностей (верхней или нижней) или верхушкой мениска;
- изменённая форма мениска.

Типы разрыва мениска. При описании разрыва надо не только указать, какой мениск пострадал (ММ или ЛМ), но и какого типа разрыв произошёл.

По направлению разрывы могут быть:

- вертикальной плоскости: продольные и радиальные;
- горизонтальной плоскости;
- комплексный разрыв.

По протяжённости: полный или частичный.

Разрывы со смещением. В 9-24% фрагмент мениска может мигрировать внутри сустава:

- в межмышцелковую ямку параллельно ЗКС (признаками служат исчезновение «бабочки» или «двойная» ЗКС);
- вперёд к подколенному жиру;
- на передний рог;
- на (под, позади) задний рог – 21%;
- вверх и медиально к надмышцелку бедренной кости;
- вниз и медиально к плато большеберцовой кости.

Отрыв мениска от капсулы. Отрыв от капсулы происходит чаще в области прикрепления заднего рога ММ к мениско-тибиальной связке. Признаками отрыва мениска от капсулы являются увеличение расстояния

между периферией мениска и большеберцовой костью, а также жидкость между ММ и мениско-тибиальной связкой.

МР-признаки разрывов передней крестообразной связки

Прямые:

- отсутствие визуализации связки (следствие отёка и кровоизлияния);
- прерывание связки;
- угловой, извитой или горизонтальный ход ($< 45^\circ$).

Косвенные:

- субхондральное повреждение мыщелка бедренной кости и/или плато большеберцовой кости;
- смещение большеберцовой кости кпереди (5 мм по отношению к заднему краю бедренной кости);
- перелом межмыщелкового выступа большеберцовой кости
- перелом Сегонда – вертикальный костный фрагмент большеберцовой кости на 4 мм дистальнее плато и параллельный латеральному кортикальному слою.

Классификация разрывов ЗКС

- полный разрыв – 40% (степень III);
- частичный – 55%;
- отрыв – 7%.

По степени заднего подвывиха большеберцовой кости: степень I – 1-5 мм; степень II – 5-10 мм; степень III – >10 мм.

Классификация разрывов коллатеральных связок

- Степень I – повышенный сигнал вследствие отёка
- Степень II – повышенный сигнал + утолщение и/или частичный разрыв
- Степень III – полный разрыв с окружающим отёком и кровоизлиянием

МРТ оперированного мениска

Задачами МРТ у пациентов, оперированных по поводу разрыва мениска, являются оценка стабильности остатка мениска, выявление свободных тел, оценка состояния связок, выявление синовита и остеонекроза. Жидкость в области удалённого мениска или в остатке мениска затрудняет трактовку обычных МРТ. Показанием к МР-артрографии является стойкое клиническое подозрение на разрыв после операции удаления свыше 25% мениска.

Методика МР-артрографии. Методика приготовления контрастирующего раствора: 2 мл гадолиниевого контрастирующего вещества развести в 250 мл физиологического раствора, 10 мл полученного раствора смешать с 5 мл йодного контраста и 5 мл 1% лидокаина. В сустав вводят 20-30 мл полученного раствора.

Методика МРТ: выполняют T1-взвешенные томограммы с подавлением сигнала от жира в аксиальной, косой корональной и косой аксиальной плоскостях.

Мы предлагаем следующую альтернативу внутрисуставному введению контрастного вещества. «Непрямая» МР-артрография заключается в следующем: контрастирующее вещество вводится внутривенно в стандартной дозировке. Исследование выполняют через 15 мин, когда контрастирующее вещество накопится во внутрисуставной полости. Повышенная концентрация контрастирующего вещества остаётся около часа.

Признаки нестабильности остатка мениска:

- при резекции до 25% мениска – те же, что и до операции,
- 25-75% – дегенерация 3 степени, смещение фрагмента,
- 75% и больше – смещение фрагмента.

Эффективность использования медицинской технологии

Собственный опыт в РНИИТО им. Р.Р. Вредена, ГМПБ №2 и ДГБ №5 насчитывает больше 100 исследований. Сопоставление с клиническим обследованием и артроскопией показало, что чувствительность МРТ в выявлении разрывов ММ составляет свыше 85%, специфичность – свыше 80%. По отношению к ЛМ эти цифры ниже, по нашим и литературным данным – 68-86% и 92-98%, соответственно [9, 11, 12, 16, 18]. Вероятность выявления разрыва мениска при артроскопии в случае отрицательного результата МРТ не превышает 10% [4, 22, 24]. Ложно-отрицательные результаты в небольшом числе случаев отмечаются при разрывах заднего рога ЛМ, сочетающегося с разрывом ПКС (11). Ложноотрицательные результаты при разрывах ММ встречаются ещё реже. Ложноположительные результаты при выявлении признаков разрыва в двух плоскостях исключительно редки. Они объясняются трактовкой зажившего разрыва как острого, что связано с сохранением высокого сигнала на МРТ длительное время. Хондрокальциноз также может симулировать разрыв. Чувствительность МРТ при подозрении на нестабильность остатка мениска после операции составляет 50-65%. Чувствительность и специфичность МР-артрографии составляет свыше 80%.

Литература

1. Antonio, G.E. Small-field-of-view MRI of the knee and ankle / G.E. Antonio, J.F. Griffith, D.K. Yeung // Am. J. Roentgenol. – 2004. – Vol. 183. – P. 24-28.
2. Azzoni, R. Is there a role for sonography in the diagnosis of tears of the knee menisci? / R. Azzoni, P. Cabitza // J. Clin. Ultrasound. – 2002. – Vol. 30. – P. 472-476.

3. Barberie, J.E. Oblique sagittal view of the anterior cruciate ligament: comparison of coronal vs. axial planes as localizing sequences / J.E. Barberie, B.W. Carson, M. Finnegan, A.D. Wong // *J. Magn. Reson. Imaging.* – 2001. – Vol. 14. – P. 203–206.
4. Boeve, B.F. Magnetic resonance imaging in the evaluation of knee injuries / B.F. Boeve, R.A. Davidson, E.V. Staab Jr. // *South. Med. J.* – 1991. – Vol. 84. – P. 1123–1127.
5. Boks, S.S. Follow-up of posttraumatic ligamentous and meniscal knee lesions detected at MR imaging: systematic review / S.S. Boks [et al.] // *Radiology.* – 2006. – Vol. 238. – P. 863–871.
6. Campbell, S.E. MR imaging of meniscal cysts: incidence, location, and clinical significance / S.E. Campbell, T.G. Sanders, W.B. Morrison // *Am. J. Roentgenol.* – 2001. – Vol. 177. – P. 409–443.
7. Campos, J.C. Pathogenesis of the Segond fracture: anatomic and MR imaging evidence of an iliotibial tract or anterior oblique band avulsion / J.C. Campos [et al.] // *Radiology.* – 2001. – Vol. 219. – P. 381–386.
8. Chen, W.T. Partial and complete tear of the anterior cruciate ligament / W.T. Chen [et al.] // *Acta Radiol.* – 2002. – Vol. 43. – P. 511–516.
9. Crues, J.V. 3rd Meniscal tears of the knee: accuracy of MR imaging / J.V. Crues 3rd, J. Mink, T.L. Levy // *Radiology.* – 1987. – Vol. 164. – P. 445–448.
10. De Maeseneer, M. Three layers of the medial capsular and supporting structures of the knee: MR imaging-anatomic correlation / M. De Maeseneer, F. Van Roy, L. Lenchik // *Radiographics.* – 2000. – Vol. 20, Spec N. – P. 83–89.
11. De Smet, A.A. Abnormal superior popliteomeniscal fascicle and posterior pericapsular edema: indirect MR imaging signs of a lateral meniscal tear / A.A. De Smet, D.A. Asinger, R.L. Johnson // *Am. J. Roentgenol.* – 2001. – Vol. 176. – P. 63–66.

12. Fischer, S.P. Accuracy of diagnoses from magnetic resonance imaging of the knee. A multi-center analysis of one thousand and fourteen patients / S.P. Fischer, J.M. Fox, W. Del Pizzo // *J. Bone Joint Surg.* – 1991. – Vol.73-A. – P. 2–10.
13. Friedl, W. Dynamic sonography in the diagnosis of ligament and meniscal injuries of the knee / W. Friedl, F. Glaser // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 1991. – Vol. 110. – P. 132–138.
14. Helms, C.A. The absent bow tie sign in bucket-handle tears of the menisci in the knee / C.A. Helms, A. Laorr, W.D. Cannon Jr. // *Am. J. Roentgenol.* – 1998. – Vol. 170. – P. 57–61.
15. Irie, K. Three-dimensional virtual computed tomography imaging for injured anterior cruciate ligament / K. Irie, T. Yamada // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2002. – Vol. 122. – P. 93–95.
16. Justice, W.W. Error patterns in the MR imaging evaluation of menisci of the knee / W.W. Justice, S.F. Quinn // *Radiology.* – 1995. – Vol. 196. – P. 617–621.
17. Lee, S.Y. Magnetic resonance delineation of the anterior cruciate ligament of the knee: flexed knee position within a surface coil / S.Y. Lee [et al.] // *Clin. Imaging.* – 2005. – Vol. 29. – P. 117–122.
18. Quinn, S.F. Menisci of the knee: radial MR imaging correlated with arthroscopy in 259 patients / S.F. Quinn, T.R. Brown, J. Szumowski // *Radiology.* – 1992. – Vol. 185. – P. 577–580.
19. Recondo, J.A. Lateral stabilizing structures of the knee: functional anatomy and injuries assessed with MR imaging / J.A. Recondo, E. Salvador, J.A. Villanua // *Radiographics.* – 2000. – Vol. 20, Spec N. – S.91–102.
20. Rubin, D.A. Meniscal tears and short TEs / D.A. Rubin // *Am. J. Roentgenol.* – 1999. – Vol. 173. – P. 1128–1129.

21. Rubin, D.L. Magnetic susceptibility effects and their application in the development of new ferromagnetic catheters for magnetic resonance imaging / D.L. Rubin, A.V. Ratner, S.W. Young // *Invest. Radiol.* – 1990. – Vol. 25. – P.1325–1332.
22. Ruwe, P.A. Can MR imaging effectively replace diagnostic arthroscopy? / P.A. Ruwe, J. Wright, R.L. Randall // *Radiology.* – 1992. – Vol. 183. – P. 335–339.
23. Solomon, S.L. MR imaging of the knee: comparison of three-dimensional FISP and two– dimensional spin–echo pulse sequences / S.L. Solomon, W.G. Totty, J.K. Lee // *Radiology.* – 1989. – Vol. 173. – P. 739–742.
24. Spiers, A.S. Can MRI of the knee affect arthroscopic practice? A prospective study of 58 patients / A.S. Spiers, T. Meagher, S.J. Ostlere // *J. Bone Joint. Surg.* – 1993. – Vol.75–B. – P. 49–52.
25. Stoller, D.W. The knee / D.W. Stoller, W.D. Cannon, L.J.Anderson // *Magnetic resonance imaging in orthopaedics & sports medicine.* – N.Y., 1997. – P. 203–492.
26. Totty, W.G. Imaging the postoperative meniscus / W.G. Totty, M.J. Matava // *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* – 2000. – Vol. 8. – P. 271–283.
27. Triesmann, H.W. Jr. The impact of magnetic resonance imaging of the knee on surgical decision making / H.W. Jr. Triesmann, J.C. Mosure // *Arthroscopy.* – 1996. – Vol. 12. – P. 550–555.
28. Tyrrell, R.L. Fast three–dimensional MR imaging of the knee: comparison with arthroscopy / R.L. Tyrrell, K. Gluckert, M. Pathria // *Radiology.* – 1988. –Vol. 166. – P. 865–872.
29. Trattig, S. Magnetic resonance imaging of the postoperative knee / S. Trattig, T. Rand, C. Czerny // *Top. Magn. Reson. Imaging.* –1999. – Vol. 10. – P. 221–236.

30. Vande Berg, B.C. Lesions of the menisci of the knee: value of MR imaging criteria for recognition of unstable lesions / B.C. Vande Berg, P. Poilvache, F. Duchateau // Am. J. Roentgenol. – 2001. – Vol. 176. – P. 771–776.
31. Yu, J.S. Posterolateral aspect of the knee: improved MR imaging with a coronal oblique technique / Yu J.S. [et al.] // Radiology. – 1996. – Vol. 198. – P. 199–204.

Приложение

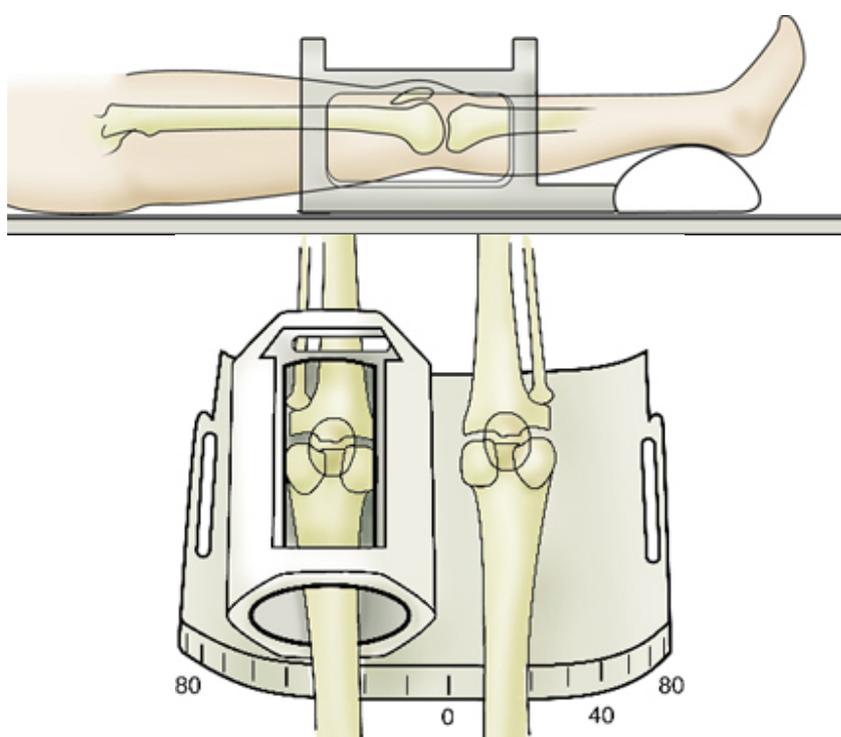


Рис. 1. Расположение коленного сустава внутри радиочастотной катушки.

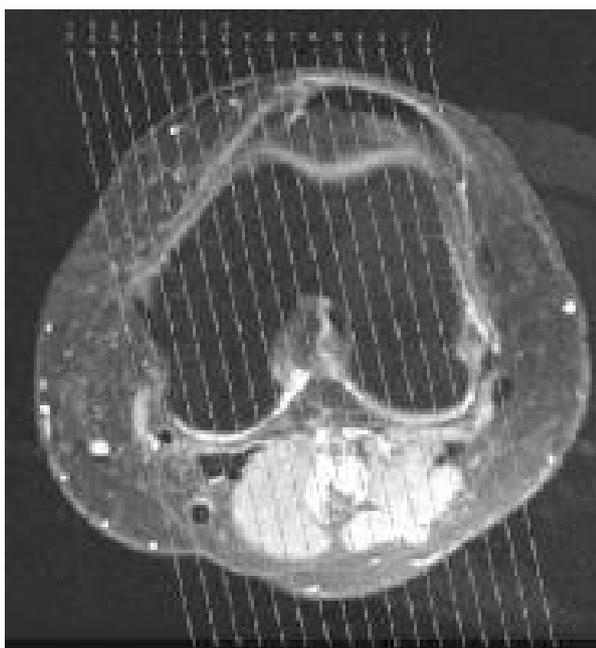


Рис. 2. Область покрытия и направление косых сагиттальных срезов, установка на аксиальном локализирующем срезе.



Рис.3. МРТ. Мениск в норме. Увеличение зоны интереса.



Рис. 4. МРТ: ПКС в норме.



Рис. 5. МРТ: ЗКС в норме.



Рис. 6. МРТ: разрыв мениска.

Рекомендуемый протокол исследования коленного сустава

	Саг. ПП	Акс. ПП	Корон. ПП	Корон. T2 с подавл.жира
Плоскость	косая	аксиальная	косая	косая
Тип	2D	2D	2D	2D
Имп.последовательность	turboSE	turboSE	turboSE	turboSE
Число эхо (ETL)	6	10	10	8
TE	34	34	34	68
TR	4000	4100	4200	3200
Радиочастотная ширина	32	32	16	16
Полоса насыщения	Выше и ниже	Выше и ниже	Выше и ниже	Выше и ниже
Матрица по частоте	512	512	512	256
Матрица по фазе	256	256	256	256
Число повторений	2	2	2	2
Направление частотного градиента	A/P	A/P	R/L	R/L
Автомат.центрация частоты	Вода	Пик	Вода	Вода
Автомат.шиммирование	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.
Контрастирование	нет	нет	нет	нет
Поле видения (FOV)	12-20	12-20	10-18	10-20
Толщина среза	3	4	3.6	3.6
Зазор между срезами	0	0.4	0.4	0.4
Число срезов	31	24	20	20