

Возможности КТ-артрографии при травме коленного сустава

П.А. Филистеев, И.Ю. Насникова, С.П. Морозов

ФГУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в настоящее время занимает лидирующее положение в диагностике повреждения внутренних структур коленного сустава. Прогресс компьютерной томографии (КТ), а именно появление многосрезовых компьютерных томографов с субмиллиметровой толщиной среза сделали возможным использовать мультиспиральную КТ (МСКТ) после интраартикулярного введения йодсодержащего контрастного препарата для выявления повреждений связок и менисков. Целью данной статьи является определение места КТ-артрографии в диагностическом алгоритме пациентов с травмой коленного сустава.

Ключевые слова: КТ-артрография, виртуальная артроскопия.

Magnetic resonance (MR) imaging is the dominant imaging technique for evaluating internal derangements of the knee. Developments in spiral computed tomographic (CT) technology with multi-detector arrays that enable submillimeter spatial resolution raised the question of the potential use of multi-detector spiral CT scanning after intraarticular injection of iodinated contrast material for the assessment of meniscal and ligamentous lesions. The purpose of this article is to determine the role of CT arthrography in patients with knee joint trauma.

Keywords: CT arthrography, virtual arthroscopy.

Травмы опорно-двигательного аппарата занимают одно из ведущих мест в структуре заболеваемости населения и имеют тенденцию к постоянному росту. В настоящее время в большинстве развитых стран мира частота этой патологии у взрослых составляет 10–11 случаев на 100 человек. Наиболее частой локализацией повреждений является коленный сустав, несущий основную физическую нагрузку в процессе жизнедеятельности человека. Так, в 2007 Национальная Университетская Спортивная Ассоциация (NCAA) представила данные о 182 000 повреждений (более чем 1 миллион спортивных отчетов за 16-летний период времени), при анализе которых больше чем 50 % всех повреждений приходились на нижние конечности, а одним из наиболее травмируемых суставов являлся коленный сустав. Важно отметить, что большая часть обращений в связи с травмой коленного сустава (более 80%) требует лечения в условиях стационара, причем более 60% госпитализированных – люди трудоспособного возраста (1). В качестве основного метода специализированной ортопедической хирургии используется артроскопическое вмешательство на коленном суставе (2), выполнение которого должно быть обосновано. Кроме того, нераспознанные и поздно диагностированные травмы коленного сустава плохо поддаются лечению и приводят к длительной потере трудоспособности. Соответственно, существенно возрастают требования к своевременной и точной диагностике повреждений коленного сустава.

В распознавании травматических повреждений костно-суставной системы, в том числе и коленного сустава, широко используется рентгенография, вследствие сложившейся традиции и доступности. С ее помощью можно выявить сужение суставной щели, переломы и костные опухоли. Однако чувствительность рентгеног-

рафии при визуализации таких анатомических структур, как связочный аппарат, фиброзный и гиалиновый хрящи, мышечная и жировая ткани, а также синовиальные оболочки, неудовлетворительна. КТ коленного сустава имеет ограниченные возможности в выявлении патологии внутрисуставных структур (3–4) и применяется в основном для уточнения характера переломов. Магнитно-резонансная томография (МРТ) занимает первое место среди методов неинвазивной диагностики при боли в области коленного сустава. Этому способствует высокая мягкотканая контрастность метода, возможность выполнения исследования в различных плоскостях, стандартизованные и воспроизводимые протоколы исследования (4–6). Однако и МРТ, помимо традиционных противопоказаний, связанных с физическими основами метода, имеет свои ограничения. Так, например, имеется существенная вариабельность диагностической эффективности МРТ в оценке внутрисуставных структур: по данным ряда исследователей точность, диагностики разрыва передней крестообразной связки (ПКС) на основании клинических симптомов достигает 100%, а на основании МРТ – не превышает 90% (7); при этом, по разным данным, чувствительность МРТ в диагностике разрыва ПКС варьирует от 55 до 90% (8). В случае гипер- и гиподиагностики патологии коленного сустава по данным МРТ возникает целый ряд проблем с выбором тактики лечения.

Быстрое развитие технологий с появлением спиральной и мультиспиральной КТ (МСКТ) с субмиллиметровой толщиной среза, временем сканирования в несколько секунд, возможностью мультипланарных 3d и 4d реконструкций позволяет по многим параметрам сопоставить МСКТ и МРТ (9). Интраартикулярное введение контрастного препарата делает возможным с помощью

компьютерной томографии визуализировать крестообразные связки, мениски, суставной хрящ. Диагностическая точность КТ-артрографии в определении поврежденных внутрисуставных структур по некоторым данным практически не уступает МРТ (10–12). Другие исследования подтверждают высокую точность КТ-артрографии в диагностике повреждений менисков (особенно нестабильных разрывов) и суставного хряща, в то время как результаты повреждения ПКС остаются неудовлетворительными (13). Кроме того, имеется возможность построения 3d и даже 4d изображений, проведение виртуальной артрографии для предоперационного планирования или неинвазивного изучения внутрисуставной анатомии (14–15).

В лучевой диагностике происходит постепенная замена принципа обследования «от простого к сложному» на принцип «наибольшей информативности», что в свою очередь приводит к формированию новых алгоритмов обследования при травмах коленного сустава.

С учетом вышеизложенного, целью настоящей публикации является демонстрация возможностей и места КТ-артрографии в диагностическом алгоритме при травме коленного сустава.

Методика

КТ-артрография коленного сустава проводится в положении пациента лежа на спине после предварительной подготовки, включающей в себя внутрисуставное введение 30–40 мл раствора неионного йодсодержащего контрастного препарата. Для пункции чаще всего используются верхнелатеральные отделы коленного сустава. При наличии выпота в суставе необходимо осуществить его предварительную эвакуацию. Далее пациентам предлагается ходить в течение 15 минут или, при наличии противопоказаний, сгибать и разгибать ногу в коленном суставе. Для уменьшения объема сумок коленного сустава и соответственно более выраженного контрастирования его центральной части производится бинтование эластичным бинтом супрапателлярных отделов. Исследование проводится с наименьшей коллимацией среза, рекомендуется выполнять сканирование при согнутом до 15° коленном суставе для увеличения расстояния между менисками и суставным хрящом, а также лучшего распространения контрастного препарата по ходу ПКС. Для оценки используются алгоритмы реконструкции «высокого разрешения» и «мягкий».

Диагностические возможности

Постоянное усовершенствование технологии КТ, улучшение пространственного разрешения, увеличение времени сканирования и, главным образом, возможность мультипланарных реконструкций позволяет получать изображения, сопоставимые по качеству с высокопольной МР-томографией. Так, диагностическая эффективность КТ-артрографии в патологии менисков и суставного хряща сопоставима с МРТ в большинстве исследований. В то же время, из-за принципиально разной физической основы методов, полученные при КТ-артрографии изображения имеют несколько важных отличий по сравнению с МРТ. Одно из них состоит в особенностях визуализации ПКС и менисков на фоне окружающей синовиальной ткани. В МРТ существует естественный высокий контраст между гипоинтенсив-

ными менисками или связками и окружающей интартикулярной синовиальной жировой клетчаткой, а в КТ-артрографии источником этого «контраста» является введенный в сустав йодсодержащий препарат. Таким образом, существует опасность пропустить разрыв связок и менисков или принять контрастный препарат по ходу синовиальных разрастаний за повреждение мениска.

Требуется определенный опыт в чтении КТ-артрографических изображений и тщательное соблюдение техники исследования для получения высоких результатов диагностики. В некоторых случаях бывает полезно получить раздельное по серошкальной шкале изображение связок, менисков и жира, меняя уровень и ширину окна.

Другой особенностью КТ-артрографии является высокая естественная контрастность костной ткани, что позволяет с легкостью выявлять переломы костей.

Одним из главных достоинств КТ-артрографии является превосходная визуализация суставного хряща между высококонтрастной костной тканью и введенным раствором. Также к преимуществам КТ-артрографии следует отнести возможность с высокой степенью вероятности дифференцировать внутрименисковую дегенерацию от разрыва мениска: дегенеративные изменения из-за отсутствия нарушения целостности мениска не будут сопровождаться внутрименисковым распространением контрастного препарата.

Виртуальная артроскопия представляет собой дополнительный способ визуализации и оценки структур коленного сустава при проведении КТ-артрографии. Изображения, полученные при виртуальной артроскопии, похожи на реальные изображения связок и менисков, выявляемых травматологами во время инвазивного артроскопического вмешательства.

В то же время при виртуальной артроскопии возникают объективнее сложности с оценкой паракапсулярных отделов менисков, с навигацией ПКС в бедренном сегменте. Кроме того, учитывая негетогенное контрастирование синовиальной полости, четкое изображение внутрисуставных структур может быть получено не во всех случаях. Тем не менее, в нескольких исследованиях при проведении КТ-артрографии виртуальную артроскопию использовали как самостоятельную методику оценки повреждений менисков и ПКС (15,16). Результаты диагностики с помощью виртуальной артроскопии и традиционного анализа мультипланарных реконструкций практически не отличались.

Результаты

В целях определения диагностических возможностей КТ-артрографии было проведено проспективное исследование на базе 1 диагностического центра с января 2009 по март 2010 года. Всем пациентам с травмой коленного сустава выполнялась магнитно-резонансная и компьютерная томография. Исследования выполнялись в один день с интервалом в 2–4 часа. На первом этапе проводилось МРТ коленного сустава на высокопольном МР-томографе (GE Signa Hdxt 3 Тесла). Исследование выполнялось в трех плоскостях в режимах T1, T2 и протонно-взвешенных изображений с использованием программ жироподавления.

На втором этапе проводилась КТ-артрография на 64-срезовом компьютерном томографе (GE VCT Light

Чувствительность, специфичность, вероятность болезни при положительном диагнозе, вероятность болезни при отрицательном диагнозе в диагностике разрывов менисков и ПКС

	Медиальный мениск	Латеральный мениск	Передняя крестообразная связка
Параметры	значение, %	значение, %	значение, %
чувствительность	83	75	60
специфичность	100	87,5	100
вероятность болезни при положительном диагнозе	100	75	100
вероятность болезни при отрицательном диагнозе	88,9	87,5	75

Таблица 1

ПКС резюмировано в таблице 2. Значения Каппа варьировали от 0,78 до 1 для разрывов ПКС, от 0,67 до 1 для диагностики разрывов латерального мениска, были равны 1 для диагностики разрывов медиального мениска. Сила связи была «высокой» для повреждений ПКС и латерального мениска и «очень высокой» для диагностики повреждений медиального мениска.

Нормальные мениски при КТ-артрографии характеризуются правильной формой, ровными контурами и однородно низкой плотностью. КТ-артрография позволяет устанавливать неровность и деформацию контура мениска, периферическое отделение от капсулы, конфигурацию и тип разрыва мениска.

Деформация контура мениска сопровождается его уплощением, зазубренностью, укорочением и другими изменениями формы. Периферическое отделение от капсулы визуализируется при наличии затека контрастного препарата между капсулой сустава и периферическими отделами мениска (после исключения возможности нормального анатомического варианта прикрепления мениска для данного пациента). Подтверждением разрыва мениска является выявление зоны «затекания» контрастного препарата внутрь мениска (рис. 1), а также выявление смещенного фрагмента мениска (рис. 2). Нестабильные разрывы менисков при КТ-артрографии определяются легче, чем стабильные. Такой косвенный признак разрыва мениска при

Таблица 2

«Диагностическое согласие» между врачами-рентгенологами в оценке разрывов ПКС и менисков, Каппа-статистика

Разрывы передней крестообразной связки			
разрыв ПКС	врач 1 и 2	врач 1 и 3	Врач 2 и 3
К	1	0,78	0,78
сила связи	очень высокая	высокая	высокая
Разрывы медиального мениска			
	врач 1 и 2	врач 1 и 3	врач 2 и 3
К	1	1	1
сила связи	очень высокая	очень высокая	очень высокая
Разрывы латерального мениска			
	врач 1 и 2	врач 1 и 3	врач 2 и 3
К	0,74	0,67	1
сила связи	высокая	высокая	очень высокая

Speed) с коллимацией среза 0,625мм после внутрисуставного введения 40 мл 50% раствора йодсодержащего контрастного препарата и соответствующей подготовки.

На третьем этапе был проведен анализ диагностической эффективности КТ-артрографии по сравнению с МРТ (со стратификацией по внутрисуставным структурам). Полученные результаты независимо друг от друга оценивали 3 врача-рентгенолога, прошедшие дополнительную подготовку по костно-суставной радиологии. Основные показатели, характеризующие точность метода КТ-артрографии в определении патологии ПКС и менисков, были проанализированы для 3 специалистов с последующим определением средних значений. Чувствительность, специфичность, вероятность болезни при положительном диагнозе, вероятность болезни при отрицательном диагнозе в оценке ПКС, медиального и латерального мениска представлены в таблице 1. Чувствительность КТ-артрографии в диагностике повреждений ПКС составила 60%, специфичность – 100%, для медиального мениска 83% и 100% соответственно, для латерального мениска – 75% и 87,5% соответственно.

В исследовании были также проанализированы случаи расхождения диагнозов у врачей-рентгенологов, результаты оценивались попарно с использованием Каппа-статистики. Диагностическое «согласие» между врачами-рентгенологами в оценке разрывов менисков и

МРТ, как параменисковая киста при КТ-артрографии, не имеет существенного диагностического значения, так как может быть выявлен не во всех случаях. В целом, КТ-артрография уже на основании полученного материала показала высокие возможности в выявлении патологии менисков, что совпадает с данными многих исследований (11–12, 17–18).

Передняя крестообразная связка в норме при КТ-артрографии визуализируется как линейная гиподенсная структура, которая начинается от заднего отдела

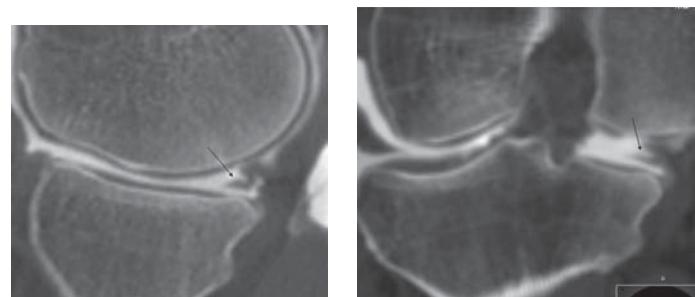


Рис. 1. КТ-артрография пациента 40 лет, характер травмы – неловкое движение. Сагиттальная и фронтальная реконструкция. Определяется деформация заднего рога медиального мениска с гиперденсной горизонтальной линией, уходящей внутрь мениска – сложный разрыв.

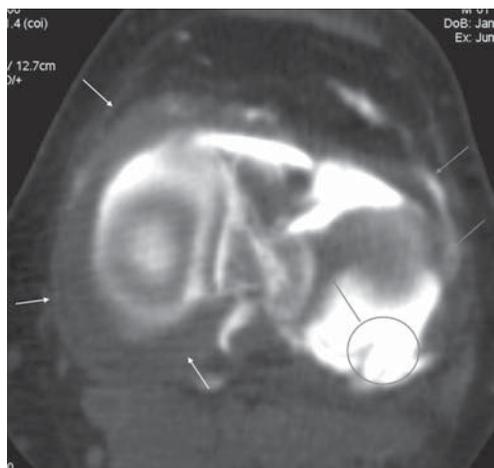


Рис. 2. КТ-артрография пациентки 50 лет. Парааксиальная реконструкция в плоскости менисков. Визуализируется интактный медиальный мениск (белые стрелки), разрыв латерального мениска по типу «ручки лейки» с отрывом и дислокацией заднего рога в центральные отделы сустава (красные стрелки).

латерального мышечка бедра и прикрепляется кпереди и латерально от переднего межмыщелкового возвышения. Учитывая возможность реконструкции в любой плоскости, в том числе по ходу связки, при КТ-артрографии в отличие от МРТ всегда удастся получить изображение ПКС на всем протяжении. Тем не менее диагностика повреждений ПКС при КТ-артрографии является сложной задачей и требует тщательного соблюдения техники проведения исследования. Диагноз частичного разрыва ПКС может быть выставлен в случае утолщения, разволокненности связки при сохранении ее анатомической целостности (рис. 3).

Следует заметить, что именно с определением частичного повреждения ПКС возникло наибольшее количество расхождений и диагностических ошибок у врачей-рентгенологов, принимавших участие в исследовании. Этим объясняется полученная низкая чувствительность КТ-артрографии в определении повреждения ПКС по сравнению с МРТ. На наш взгляд, это связано с отсутствием такого важного признака повреждения связки при КТ-артрографии, как ее отек, выявляющийся на МРТ в виде зоны повышения сигнала на T2 и PD взвешенных



Рис. 3. КТ-артрография, реконструкция по ходу ПКС в парафронтальной плоскости. Обращает на себя внимание разволокнение ПКС в бедренном сегменте с «депо» контрастного препарата по ходу волокон связки, что соответствует ее частичному повреждению.



Рис. 4. КТ-артрография. В области межмыщелкового возвышения визуализируется разволокненная дислоцированная ПКС – полный разрыв.

изображениях. Учитывая огромную анатомическую вариабельность размеров и толщины ПКС, достоверно высказать о ее частичном повреждении при отсутствии затекания контрастного препарата в зоне поврежденных волокон по данным КТ-артрографии затруднительно.

Как и при МРТ, прямыми признаками полного разрыва связки по данным КТ-артрографии являлись ее полный перерыв, конфигурация по типу аморфной массы, визуализация смещенной культи (рис. 4).

При КТ-артрографии полные разрывы связок как правило сопровождалась четкой демаркационной линией в виде полоски контрастного препарата на границе разрыва, что и позволяло поставить диагноз в большинстве случаев.

Наиболее часто наблюдались разрывы связки в среднем и бедренном сегменте. В последнем случае удалось четко проследить наличие контрастного препарата между мышечком бедренной кости в зоне прикрепления связки и проксимальными отделами ПКС, что подтверждало ее полный отрыв от бедра (рис. 5).

По результатам данного исследования нельзя дать однозначного ответа о возможностях КТ-артрографии в диагностике повреждений ПКС, учитывая небольшое количество обследованных, отработку методики исследования и интерпретации полученных данных.

Повреждения медиальной и латеральной коллатеральной связок могут быть распознаны по их утолщению

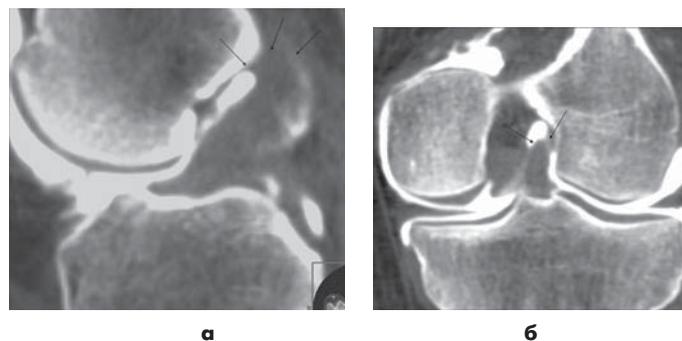


Рис. 5. КТ-артрография а) и б): реконструкции в плоскости передней крестообразной связки. Определяется нарушение целостности ПКС в бедренном сегменте. Контрастное вещество со всех сторон окружает верхние отделы связки, место ее прикрепления к бедренной кости не прослеживается, что соответствует ее полному разрыву.

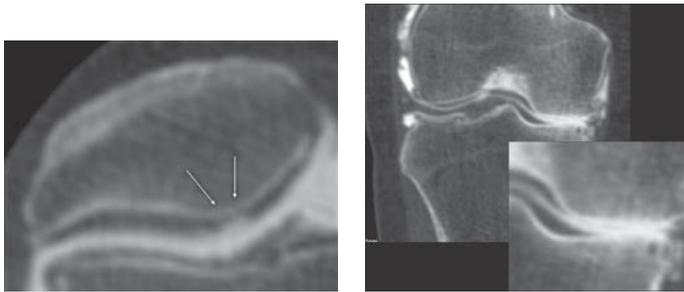


Рис. 6. КТ-артрография пациентки 45 лет. Аксиальное изображение надколенника (а) и фронтальная реконструкция центральных отделов сустава. Определяется выраженное истончение суставного хряща надколенника в центральных отделах на 80%, что соответствует его хондромалиции 3 ст. Хрящевой дефект медиальных мыщелков бедренной и большеберцовой кости с признаками субхондрального остеосклероза и кистами в мыщелке большеберцовой кости – хондромалиция 4 ст.

и разволокнутию, а также в ряде случаев по распространению раствора контрастного препарата на область связки. Задняя крестообразная связка в большинстве случаев также поддается оценке, несмотря на фрагментарное контрастирование. Кроме того, разрывы ЗКС встречаются крайне редко и оперируются при наличии клинических проявлений.

КТ-артрография позволяет выявить диффузное и локальное истончение суставного хряща, охарактеризовать остеофиты, зоны субхондрального остеосклероза и кистозной перестройки у больных остеоартрозом (рис. 6). Кроме того, участки хондромалиции при КТ-артрографии легче поддаются количественной оценке, а суставной хрящ удается выявить на всем протяжении и без артефактов. К недостаткам метода можно отнести невозможность определения 1-ой стадии хондромалиции и структурной оценки гиалинового хряща, что негативно сказывается на способности метода контролировать медикаментозное лечение.

В целом, КТ-артрография по данным литературы имеет более высокую точность в оценке истончения суставного хряща и стадировании остеоартроза.

Возможности КТ-артрографии после оперативного вмешательства

В настоящее время большинство материалов, используемых в ортопедии, являются немагнитными, в связи с чем существенно повысилась информативность МРТ исследования у оперированных пациентов. Кроме того, бесконтрастные рентгенологические методики не позволяют оценить состояние аутотрансплантата, отличить постоперационные изменения мениска от его разрыва.

Все это привело к использованию магнитно-резонансной томографии в качестве основной диагностической методики после артроскопических вмешательств на коленном суставе.

Однако нередко МРТ исследование не может быть выполнено или оказывается неинформативным. Это связано с абсолютными и относительными противопоказаниями к МРТ (кардиостимуляторы, клипсы на сосудах головного мозга, кохлеарные импланты, клаустрофобия и т.д.), а также с выраженными артефактами от хирургических материалов, не позволяющими интерпретировать полученные изображения.

В этом случае альтернативной методикой может быть выполнение КТ-артрографии. КТ-артрография позволяет провести комплексную оценку состояния коленного сустава (выявить нарушение лигаментации аутотрансплантата ПКС и повторные разрывы менисков, оценить расположение костных каналов и интерференц-шурпов, мест забора аутотрансплантата, выявить остеолит).

Показаны более высокие показатели чувствительности и специфичности КТ-артрографии по сравнению с МРТ в определении частичных и полных разрывов аутотрансплантата ПКС, дифференциальной диагностике постоперационных изменений менисков и их разрывов. Так, чувствительность и специфичность КТ-артрографии в диагностике разрывов менисков составила 96% и 100% соответственно, в диагностике разрывов ПКС 86–91% и 100%. В то время при МРТ для менисков и ПКС чувствительность варьировала в пределах 50–68%, специфичность 27–53% (19).

В то же время следует помнить, что диагностика импинджмент-синдрома аутотрансплантата, отека костной ткани вокруг костных каналов по данным КТ-артрографии невозможна.

На основании вышеизложенного, показаниями к КТ-артрографии оперированного коленного сустава могут быть повторная травма, клиническое подозрение на разрыв аутотрансплантата, нестабильность в области коленного сустава.

Ограничения КТ-артрографии

КТ-артрография имеет низкую чувствительность и специфичность в диагностике повреждения структур, расположенных вне синовиальной полости в связи с отсутствием их контрастирования (в частности - коллатеральных связок, задних отделов задней крестообразной связки). По данным КТ-артрографии не поддается оценке костный мозг, его инфильтрация, контузионные изменения костной ткани, пропускаются рентгенологически скрытые переломы, что в ряде случаев не позволяет поставить правильный диагноз. Многие ошибки при КТ-артрографии связаны с неправильной интерпретацией томограмм. Интраартикулярное введение контрастного препарата при КТ-артрографии также связано с дополнительными ограничениями. Во-первых, исследование становится инвазивным и должно проводиться при участии или под контролем врачей травматологов-ортопедов. Во-вторых, существует потенциальная опасность осложнений, связанных с внутрисуставным введением йодсодержащего вещества. Наконец, в случае неудовлетворительного контрастирования синовиальной полости при КТ-артрографии оценка результатов исследования в полном объеме, как правило, невозможна.

Заключение

МРТ коленного сустава в настоящее время является «золотым стандартом» неинвазивной оценки коленного сустава и единственным методом, позволяющим провести оценку как внутри- и околоуставных соединительнотканых структур, так и костной ткани. С помощью КТ-артрографии можно выявить патологию наиболее важных интраартикулярных образований коленного сустава (ПКС, менисков, суставного хряща). КТ-артрография сопоставима с МРТ в диагностике истончения суставного хряща, практически не уступает МРТ в

диагностике повреждений менисков, поэтому данный метод обследования показан тем пациентам с травмой коленного сустава и симптомами повреждения внутренних структур, которым по различным причинам не может быть выполнено МРТ. Также показаны высокие диагностические возможности КТ-артрографии при обследовании оперированного коленного сустава.

Следует помнить, что для получения высоких результатов при КТ-артрографии требуется прецизионное соблюдение методики обследования и определенный навык интерпретации полученных томограмм.

Перспективы развития КТ-артрографии связаны главным образом с появлением кинематической или 4D КТ. С помощью данной методики станет возможным лучше выявлять патологию в пателлофemorальном суставе, более четко визуализировать повреждения крестообразных связок. Появится возможность дифференцировать частичные и полные разрывы не с анатомической (степень повреждения волокон), а с функциональной позиции (появление патологической подвижности в коленном суставе), что более рационально при определении необходимости операции.

Таким образом, несмотря на явное доминирование МРТ в костно-суставной радиологии, развитие КТ также продолжается. В отличие от бесконтрастной КТ, являющейся дополнительной к МРТ методикой при необходимости уточнить характер перелома, КТ-артрография во многих случаях может применяться на первом этапе диагностики. Дальнейшее совершенствование методов лучевой диагностики может привести к изменению существующих алгоритмов обследования пациентов с травмой коленного сустава, что в конечном счете будет способствовать улучшению результатов лечения.

Литература

1. *Hospital Episode Statistics, Department of Health, England, 2002–03*
2. Миронов С.П., Орлецкий А.К., Цыкунов М.Б., Повреждения связок коленного сустава, Москва. — 1999ю — 207 с.
3. Ghelman B. *Meniscal tears of the knee: evaluation by highresolution CT combined with arthrography. Radiology.* — 1985. Vol. 157. P. 23–27.
4. Malghem J., Vande Berg B.C., Lebon C., Lecouvet F.E., Maldague B.E. *Ganglion cysts of the knee: articular communication revealed by delayed radiography and CT after arthrography. AJR Am J Roentgenol.* — 1998. — Vol. 170. — P. 1579–1583.
5. Tavernier T., Dejour D. *Knee imaging: what is the best modality. J Radiol.* — 2001. — Vol. 82. — P. 387–408.
6. Crues J.V. III, Mink J., Levy T.L., Lotysch M., Stoller D.W. *Meniscal tears of the knee: accuracy of MR imaging. Radiology Preparing the routine view for virtual arthroscopy is.* — 1987. — Vol. 164. — P. 445–448.
7. Mink J.H., Levy T., Crues J.V. III. *Tears of the anterior cruciate ligament and menisci of the knee: MR imaging evaluation. Radiology.* — 1988. — Vol. 167. — P. 769–774.
8. Kocabay Y., Tetik O., Isbell W.M., Atay O.A., Johnson D.L. *The value of clinical examination versus magnetic resonance imaging in the diagnosis of meniscal tears and anterior cruciate ligament rupture. Arthroscopy.* — 2004. — Vol. Sep; 20 (7). — P. 696–700.
9. Vincken P.W., ter Braak B.P., van Erckel A.R., de Rooy T.P., Mallens W.M., Post W., Bloem J.L. *Effectiveness of MR imaging in selection of patients for arthroscopy of the knee. Radiology.* — 2002. — Jun; 223 (3). — P. 739–746.
10. Berland L.L., Smith J.K. *Multi detector-array CT: once again, technology creates new opportunities. Radiology.* — 1998. — Vol. 209. — P. 327–329.
11. Vande Berg B.C., Lecouvet F.E., Poilvache P. et al. *Dual-detector spiral CT arthrography of the knee: accuracy for detection of meniscal abnormalities and unstable meniscal tear. Radiology.* — 2000. — Vol. 216. — P. 851–857.
12. Vande Berg B.C., Lecouvet F.E., Poilvache P., Maldague B., Malghem J. *Spiral CT arthrography of the knee: technique and value in the assessment of internal derangement of the knee. Eur Radiol.* — 2002. — Vol. 12. — P. 1800–1810.
13. Hadj-Salah M., Mourali S., Abdelali M.A., Mliani K., Ben Mrad M., Cyrine D., Bouhaouala M.H. *Spiral computed tomographic arthrography versus arthroscopy in internal derangements of the knee Tunis Med.* — 2006. — Vol. Nov; 84 (11). — P. 734–737.
14. Irie K., Yamada T. *Three-dimensional virtual computed tomography imaging for injured anterior cruciate ligament. Arch Orthop Trauma Surg.* — 2002. — Vol. 122. — P. 93–95.
15. Whal Lee, Ho Sung Kim, Seok Jung Kim, et al. *CT Arthrography and Virtual Arthroscopy in the Diagnosis of the Anterior Cruciate Ligament and Meniscal Abnormalities of the Knee Joint. Korean J Radiol.* — 2004. — Vol. 5. — P. 47–54.
16. B. Coulier. *Direct 3D imaging of the knee menisci during 16-row multislice CT arthrography. JBR–BTR.* — 2006. — Vol. 89. — P. 291–297.
17. Rubin D.A. *MR imaging of the knee menisci. Radiol Clin NorthAm.* — 1997. — Vol. 35. — P. 21–44.
18. Heron C.W., Calvert P.T. *Three-dimensional gradient-echo MR imaging of the knee: comparison with arthroscopy in 100 patients. Radiology.* — 1992. — Vol. 183. — P. 839–844.
19. De Filippo em all. *Eur J. Radiol.* — 2009. — Vol. 70. — P. 342–351.