Многоцентровой анализ диагностической точности магнитно-резонансной томографии коленного сустава

С.П.Морозов[1], С.К.Терновой[2]

[1]Центральная клиническая больница с поликлиникой УДП РФ, Москва (главный врач – проф. А.Т.Бронтвейн);
[2]Московская медицинская академия им. И.М.Сеченова, кафедра лучевой диагностики и терапии (зав. кафедрой – проф. С.К.Терновой)

В настоящее время одной из основных причин временной утраты трудоспособности экономически и социально-активным населением являются повреждения суставов. Точная предоперационная диагностика позволяет спланировать адекватное хирургическое вмешательство, сократить сроки утраты нетрудоспособности и улучшить качество жизни пациентов. Однако магнитно-резонансная томография, все чаще выполняемая пациентам с травмой коленного сустава, характеризуется высокой вариабельностью диагностической эффективности. В настоящей работе на основе многоцентрового исследования проанализированы основные причины диагностических ошибок МРТ коленного сустава и представлены рекомендации по применению этого метода.
Ключевые слова: коленный сустав, магнитно-резонансная томография, диагностическая эффективность

Multi-center analysis of diagnostic effectiveness of knee joint MRI

S.P.Morozov[1], S.K.Ternovoy[2]

[1]Central Clinical Hospital and Polyclinic of Affairs Management Department of President of Russian Federation, Moscow (Chief Doctor – Prof. A.T.Brontvein);
[2]Moscow Medical Academy named after I.M.Sechenov, Department of Radiodiagnosis and Therapy (Head of the Department – Acad. of RAMS, Prof. S.K.Ternovoy)

Joint trauma is one of the major reasons for the temporary loss of ability to work by economically and socially active population. Definitive pre-operative diagnosis allows to correct surgery planning, to decrease sick-lists duration and improve quality of patients' life. MRI is the method of choice for pre-operative examination of the knee joint. However it is associated with high variability of diagnostic effectiveness. This paper focuses on the identification of major diagnostic failures of the technique and provides recommendations for the appropriate application of MRI.
Key words: knee joint, Magnetic Resonance Imaging, diagnostic efficiency

Начало XXI века в России ознаменовалось значительным ростом травматических и ортопедических заболеваний, обусловленным развитием спортивной индустрии и популяризацией сложнокоординационных видов спорта. Соответственно, резко возросла потребность в специализированной ортопедической хирургии, основу которой составляют артроскопические вмешательства на внутрисуставных структурах [1, 2]. Как следствие, изменились приоритеты применения методов лучевой диагностики, в первую очередь – магнитно-резонансной томографии (МРТ), выполняемой сегодня каждому второму пациенту с травмой коленного сустава. При этом 30% всех МР-исследований проводится по поводу заболеваний и повреждений коленного и плечевого суставов [3]. Точный предоперационный диагноз позволяет подобрать наиболее адекватный метод лечения, спланировать объем оперативного вмешательства, определить прогноз заболевания.

МРТ рассматривается рентгенологами и клиницистами как абсолютно объективный метод диагностики, возможности которого практически не ограничены. В то же время многие травматологи скептически относятся к применению МРТ, так как зачастую сталкиваются со значительными расхождениями предоперационного диагноза (по данным МРТ) и артроскопической картины. По данным ряда исследователей, точность диагностики разрыва передней крестообразной связки (ПКС) на основании клинических симп-

Для корреспонденции:

Морозов Сергей Павлович, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий отделением рентгеновской диагностики и томографии Центральной клинической больницы с поликлиникой УДП РФ

Адрес: 121356, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 15
Телефон: (495) 415-0124
E-mail: spmoroz@mail.ru

Статья поступила 15.05.2009 г., принята к печати 10.06.2009 г.

томов достигает 100%, а на основании МРТ – не превышает 90% [4]. При этом, по разным данным, чувствительность МРТ в диагностике разрыва ПКС варьирует от 55 до 90% [5]. При несовпадении результатов МРТ с выявленными при артроскопической ревизии повреждениями сустава возникает целый ряд проблем. Прежде всего изменяется объем операции, причем как в большую (артротомия), так и меньшую сторону. Необходимость выполнения вмешательства, связанного с большими ограничениями в послеоперационном периоде и не согласованного с пациентом, является крайне негативным последствием неправильной предоперационной диагностики.

В качестве основных причин недостаточной чувствительности и специфичности МРТ обычно рассматриваются напряженность магнитного поля и квалификация врача-рентгенолога. Таким образом, значительная неоднородность в интерпретации результатов томографии приводит к недооценке значения предоперационной МРТ травматологами-ортопедами и отсутствию согласованных показаний для МРТ у пациентов с травмой коленного сустава.

Целью настоящего исследования явилось изучение вариабельности предоперационной МРТ коленного сустава и определение причин объективных и субъективных диагностических ошибок.

Пациенты и методы

Исследование было проведено в соответствии с ретроспективным многоцентровым дизайном. Материалом исследования послужили даные 203 пациентов с повреждениями коленного сустава, оперированных в одном ортопедическом центре одним хирургом с января 2006 г. по ноябрь 2008 г. Все пациенты проходили клиническое обследование (осмотр с определением симптомов повреждения внутрисуставных структур) в том же ортопедическом центре и МРТ коленного сустава в одном из 5 диагностических центров. После консультации травматолога пациентам предлагалось выбрать диагностический центр для проведения МРТ, что обеспечило условную рандомизацию пациентов. Диагностические центры различались по типу МР-томографов (с напряженностью магнитного поля 0,5–3,0 Тл), по набору используемых импульсных последовательностей (спин-эхо или градиентное эхо, Т2 или протонно-взвешенные томограммы) и по квалификации врачей-рентгенологов (наличие специалистов с опытом работы в мышечно-скелетной рентгенологии не менее 5 лет). Интервал между проведением МРТ и артроскопической операцией составил не более 4–6 нед. Все исследования проводились в рамках клинической работы, и ни одно из исследований не выполнялось в чисто исследовательских целях. В связи с этим информированное согласие пациентов на участие в настоящем исследовании не потребовалось.

Средний возраст обследуемых по всем центрам составил 35,0 ± 12,7 года (минимальный возраст составил 15 лет, максимальный – 74 года). Распределение по полу выглядит следующим образом: мужчины – 56,7% (115), женщины – 43,3% (88); различия статистически не достоверны. Распределение обследуемых по группам в зависимости от диагностического центра представлено в табл. 1. С учетом того, что пациенты сами выбирали диагностический центр, достоверных различий по возрасту пациентов между 5 центрами выявлено не было (условная рандомизация). Однако было выявлено неравномерное распределение пациентов по диагностическим центрам в зависимости от характера патологического процесса: распространенность повреждения менисков варьировала от 18,3 до 35,7%, суставного хряща – от 51,7 до 85,7%, в центре В было достоверно меньше пациентов с повреждениями медиального мениска и достоверно больше пациентов с повреждениями латерального мениска и суставного хряща (табл. 2).

На первом этапе исследования была сформирована база данных, включающая данные 203 пациентов. Результаты клинического обследования (симптомы повреждения внутрисуставных структур), МРТ (выполненная в 1 из 5 диагностических центров), артроскопии (референтный метод, выполнявшийся в 1 ортопедическом центре) были внесены в базу данных согласно существующим классификациям (степени повреждения суставного хряща, менисков, связок).

В целях обеспечения максимально точного сопоставления результатов клинического исследования, МРТ и артроскопии существующие классификации повреждений унифицированы и закодированы единообразно. Например, выраженность клинических симптомов кодировалась в баллах от 0 до 3 (отсутствует, слабоположительный, положительный, резко положительный). Из протокола осмотра коленного сустава травматологом извлекалась информация о наличии у пациента передней боли (повреждение суставного хряща надколенника или бедра, синдром медиопателлярной складки, повреждение переднего рога латерального или медиального мениска), медиальной боли (повреждение медиального мениска, суставного хряща медиальных мыщелков), латеральной боли (повреждение латерального мениска, суставной хрящ латеральных мыщелков). Также в базу данных заносилась информация о наличии специфических симптомов повреждения передней крестообразной связки («передний выдвижной ящик»,

Таблица 1. **Распределение пациентов по диагностическим центрам**

Основные показатели	Диагностические центры				
	A	B	C	D	E
Напряженность магнитного поля, Тл	1,5	3,0	0,5	1,0	3,0
Специализация	Ортопедия	Общая	Ортопедия	Общая	Ортопедия
Число пациентов	60	42	40	61	32
Средний возраст пациентов, лет	34,5	33,2	35,4	36,6	33,3

Таблица 2. **Распределение пациентов по диагностическим центрам и верифицированному диагнозу**

Поврежденная структура (по данным артроскопии)	Число верифицированных повреждений внутрисуставных структур (для каждого МРТ центра), %				
	A	B	C	D	E
Медиальный мениск	58,3	35,7	52,5	52,5	46,9
Латеральный мениск	18,3	35,7	22,5	27,9	18,8
Передняя крестообразная связка	88,3	81,0	87,5	86,9	84,4
Суставной хрящ	51,7	85,7	55,0	67,2	62,5
Достоверность различий	NS	$p < 0,05$	NS	NS	NS

симптом Лахмана), медиального мениска (тест МакМюррея). Определялось наличие гемартроза, болезненной компрессии надколенника, заклинивания в суставе (полный разрыв передней крестообразной связки или мениска).

Данные протоколов артроскопии и МРТ кодировались следующим образом:

• суставной хрящ (6 отделов внутри сустава): 0 – хрящ нормальный, без особенностей; 1 – хондромаляция (неоднородная структура); 2 – хондромаляция (истончение менее 50% толщины); 3 – хондромаляция (истончение более 50% толщины); 4 – хондромаляция (отсутствие хряща);

• медиальный и латеральный мениски (тело, задний рог, передний рог): 0 – без особенностей; 1 – дегенеративно или постконтузионно изменен, ренее резецирован; 2 – разрыв (при наличии вовлечения как минимум одной суставной поверхности);

• передняя крестообразная связка: 0 – без особенностей; 1 – дегенеративно, постконтузионно изменена; 2 – частичный разрыв; 3 – полный разрыв.

Степень давности повреждения не учитывалась. Другая информация о состоянии внутрисуставных структур в данном анализе не использовалась.

На втором этапе был проведен анализ диагностической эффективности клинического обследования и МРТ по сравнению с артроскопией (со стратификацией по внутрисуставным структурам и диагностическим аппаратам). Данный анализ включал определение диагностической эффективности клинического исследования и МРТ (чувствительность, специфичность, прогностическая ценность положительного и отрицательного результатов, отношение правдоподобия). Сопоставление диагностической эффективности МРТ в разных центрах осуществлялось посредством анализа характеристических кривых (ROC-анализ) и расчета площади под кривой для каждой анализируемой внутрисуставной структуры (медиальный и латеральный мениски, передняя крестообразная связка и суставной хрящ). Кроме того, мы попытались условно предсказать вероятность оперативного вмешательства с учетом наличия сочетанных повреждений внутрисуставных структур (мениск и связка, связка и хрящ и т.п.). Статистический анализ осуществлялся с помощью пакетов MS Office Excel, SPSS, MedCalc.

На третьем этапе были идентифицированы диагностические ограничения МРТ и субъективные ошибки МРТ посредством пересмотра снимков МРТ тех пациентов, у которых были существенные расхождения пред- и интраоперационного диагноза. Кроме того, были предложены оптимальные алгоритмы обследования коленного сустава в зависимости от клинической симптоматики.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ обобщенных данных по всем диагностическим центрам (всего 203 пациента) продемонстрировал, что в 91% случаев имелись сочетанные повреждения внутрисуставных структур, что было диагностировано при МРТ с чувствительностью и специфичностью 88% и 77% соответственно (табл. 3). При этом вероятность наличия сочетанных повреждений при положительном результате МРТ достигала 97%, что позволяет хирургу без сомнений планировать артроскопическое вмешательство. Однако отрицательный результат МРТ не позволяет исключить необходимость артроскопического вмешательства.

Таблица 3. **Обобщенные данные исследования**

Критерии диагностической эффективности	ММ	ЛМ	ПКС	Хрящ	Прогноз необходимости операции
Доля больных, %	50	25	86	85	91
Чувствительность	0,76	0,51	0,60	0,66	0,88
Специфичность	0,68	0,90	0,82	0,83	0,77
Вероятность болезни при «+» диагнозе	0,71	0,65	0,95	0,96	0,97
Вероятность болезни при «–» диагнозе	0,26	0,15	0,75	0,70	0,6

При обобщенном анализе повреждение передней крестообразной связки являлось наиболее частой патологией (86%). Чувствительность МРТ в оценке ПКС составляла 0,47–0,82, специфичность – 0,75–1,0, т.е. в большинстве случаев положительный результат МРТ позволяет подтвердить диагноз у 96% пациентов. Большая вариабельность чувствительности свидетельствует о высокой частоте ложноотрицательных субъективных ошибок (недооценка МР-симптомов повреждения ПКС).

Повреждение медиального мениска (ММ) было верифицировано у 50% пациентов. Чувствительность МРТ составляла 0,67–0,87, специфичность – 0,38–0,85. Высокая вероятность отсутствия разрыва ММ при положительном результате МРТ (усредненная специфичность 68%) свидетельствует о переоценке МР-симптомов повреждения мениска.

Повреждение латерального мениска (ЛМ) диагностировано при артроскопии только у 25% пациентов. В оценке повреждений ЛМ МРТ показала невысокую чувствительность с высокой степенью вариабельности по разным центрам (0,33–0,67), что свидетельствует о высокой частоте ложноотрицательных ошибок. Специфичность составила 0,87–1,0, что позволяет достоверно поставить диагноз повреждения ЛМ по данным МРТ у большинства пациентов.

Повреждение суставного хряща было верифицировано у 64% пациентов при артроскопии. МРТ позволила поставить предоперационный диагноз с чувствительностью 0,55–0,7 и специфичностью 0,78–0,9, что свидетельствует о существенной недооценке МР-признаков повреждения хряща.

Анализ диагностической эффективности МРТ по отдельным диагностическим центрам выявил существенные различия в эффективности МРТ (табл. 4, 5). При анализе характеристических кривых (рис. 1) было установлено, что имеются

Таблица 4. **Результаты анализа характеристических кривых для 5 диагностических центров по каждой внутрисуставной структуре**

Группа	Площадь под характеристической (ROC) кривой				
	ММ	ЛМ	ПКС	Хрящ	Общее значение
A	0,80	0,75	0,64	0,72	0,70
B	0,86	0,73	0,79	0,75	0,78
C	0,69	0,56	0,89	0,66	0,70
D	0,57	0,68	0,67	0,71	0,66
E	0,81	0,80	0,71	0,76	0,77
Обобщенные данные	0,73	0,70	0,72	0,71	0,71

ММ – медиальный мениск, ЛМ – латеральный мениск, ПКС – передняя крестообразная связка.

Таблица 5. **Чувствительность и специфичность МРТ в диагностике повреждения каждой внутрисуставной структуры со стратификацией по диагностическим центрам**

Группы	ММ		ЛМ		ПКС		Хрящ		Прогноз необходимости операции	
	Ч	Сп	Ч	Сп	Ч	Сп	Ч	Сп	Ч	Сп
A	0,77	0,76	0,63	0,91	0,47	0,85	0,58	0,86	0,81	0,83
B	0,86	0,85	0,6	0,88	0,82	0,75	0,66	0,83	0,91	0,66
C	0,66	0,78	0,33	0,93	0,77	1	0,54	0,77	0,86	1
D	0,78	0,38	0,47	0,88	0,49	0,75	0,53	0,9	0,94	0,66
E	0,86	0,76	0,66	1	0,59	1	0,7	0,83	0,79	1

ММ – медиальный мениск, ЛМ – латеральный мениск, ПКС – передняя крестообразная связка, Ч – чувствительность, Сп – специфичность.

достоверные различия в точности диагностики повреждения медиального мениска (площадь под кривой для центров B и D составила 0,86 и 0,57 соответственно). Данные различия объясняются низкой специфичностью диагностики повреждения медиального мениска в центре D (38%, см. рис. 2).

Также были выявлены достоверные различия в точности диагностики повреждения передней крестообразной связки для центров A, B и D, что было обусловлено существенными различиями чувствительности (47, 82 и 79% соответственно). При этом наибольшее значение площади под кривой было получено для центра C (0,89).

Достоверных различий точности диагностики повреждения латерального мениска и суставного хрящя между диагностическими центрами выявлено не было. Различия по латеральному мениску для центров C и E (0,56 и 0,8) не имели статистической достоверности. Полученные данные по повреждениям суставного хряща имели наименьшую вариабельность среди всех проанализированных структур, что свидетельствует о недостаточных диагностических возможностях стандартной МРТ (вне зависимости от типа аппарата и квалификации специалистов).

В целом наиболее высокие показатели диагностической эффективности были показаны для центров B и E, выполняющих исследования с помощью 3-Тесловой МР-томографии. Вместе с тем достоверных отличий диагностической эффективности МРТ для специализированного ортопедического центра, использующего низкопольную томографию, выявлено не было. Таким образом, наиболее высокая информативность МРТ достигается при сочетании высокопольной томографии и специализации врачей-рентгенологов в области мышечно-скелетной радиологии.

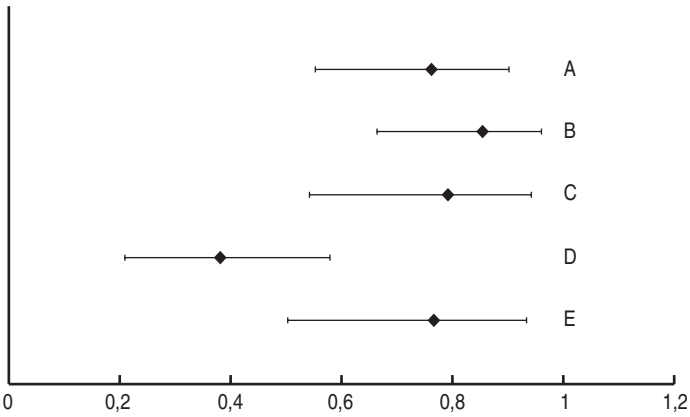


Рис. 2. **Специфичность диагностики разрывов медиального мениска для 5 диагностических центров. Специфичность МРТ для центра D достоверно ниже по сравнению с центром B.**

В последние годы в России особую актуальность приобретают вопросы эффективного использования современных технологий [6]. К сожалению, во многих случаях возможности магнитно-резонансной и компьютерной томографии дискредитируются неправильным проведением диагностических исследований и некорректной интерпретацией полученных результатов. В этой связи большое значение приобретают вопросы оценки качества лучевой диагностики, в основе решения которых лежат принципы доказательной медицины и радиологии. Данная работа представляет возможности научно обоснованного анализа эффективности работы службы лучевой диагностики на примере МРТ коленного сустава, которая постепенно становится «золотым» стандартом неинвазивной оценки коленного сустава (рис. 3). Согласно нашим данным, МРТ позволяет с высокой точностью (97%) определить необходимость артроскопического вмешательства на коленном суставе.

Однако предоперационная МРТ коленного сустава характеризуется высокой вариабельностью диагностической эффективности, которая, по оценкам разных авторов, составляет от 45 до 98% [7]. В настоящем исследовании также выявлены достоверные различия в точности диагностики повреждений передней крестообразной связки и медиального мениска в разных диагностических центрах (38–85%). Основной причиной этого являются субъективные диагности-

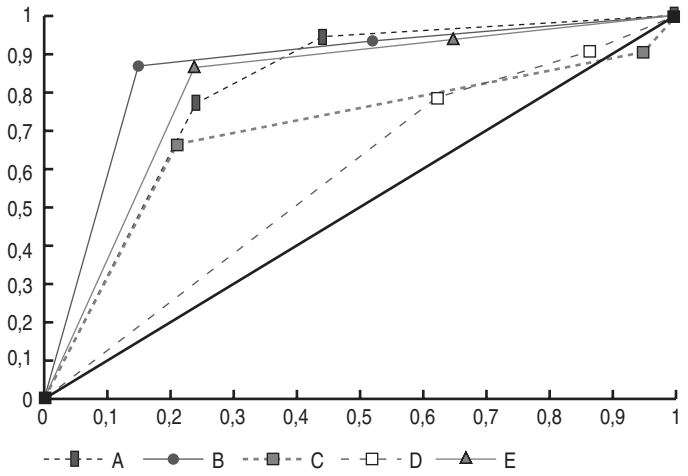
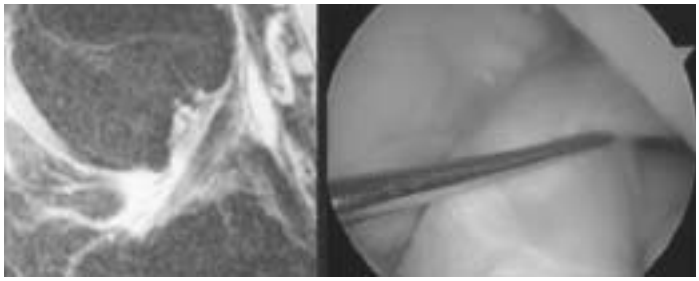


Рис. 1. **Характеристические кривые точности диагностики разрыва медиального мениска для 5 диагностических центров.**

Рис. 3. **Полное совпадение результатов МРТ и артроскопии (полный разрыв передней крестообразной связки).**



Гиперинтенсивный сигнал от ПКС

Полный субсиновиальный отрыв ПКС от бедра

Рис. 4. **Недооценка повреждения передней крестообразной связки по данным МРТ.**

ческие ошибки, обусловленные некорректной интерпретацией результатов МРТ. Согласно нашим данным, чаще всего имеют место недооценка МР-симптомов повреждения ПКС (рис. 4) и переоценка МР-симптомов повреждения медиального мениска (рис. 5), что обусловлено несоблюдением стандартов интерпретации томограмм. Согласно T.Magee et al., чувствительность МРТ может быть повышена на 20% за счет использования четких диагностических критериев [8].

По нашим данным, МРТ продемонстрировала высокую частоту ложноотрицательных результатов при оценке повреждений латерального мениска. При этом чувствительность МРТ варьировала по разным диагностическим центрам от 33 до 67%. Аналогичные данные были получены A.A. De Smet et al. [9]. В научной литературе отсутствует единство в объяснении этого факта. Традиционные случаи гипердиагностики повреждений менисков, обусловленные дегенеративными изменениями, межменисковыми или мениско-бедренными связками, не могут объяснить низкую чувствительность МРТ.

Существенным диагностическим ограничением МРТ остается высокая субъективность при оценке суставного хряща. Согласно нашим данным, во всех диагностических центрах, вне зависимости от типа аппарата и квалификации специалистов, точность МРТ не превышала 75%. Это обусловлено отсутствием четких МР-критериев оценки состояния хряща и недостаточностью стандартных МР-томограмм. Основные перспективы в данной области связаны с разработкой методик картирования хряща (Т2-карты) и прямой МР- или КТ-артрографии.

Теоретическое предположение о том, что 3-Тесловая МРТ имеет существенные преимущества в диагностике повреждений внутрисуставных структур, не нашло достоверного подтверждения в настоящем исследовании. Высокопольная томография не может компенсировать недостаточную квалификацию врача-рентгенолога в области мышечно-скелетной рентгенологии или некорректное проведение МР-исследования. Вместе с тем высокое пространственное разрешение 3-Тесловой МРТ в сочетании с методиками картирования суставного хряща и прямой артрографии открывает новые перспективы в диагностике начальных стадий гонартроза и контроле эффективности консервативного лечения.

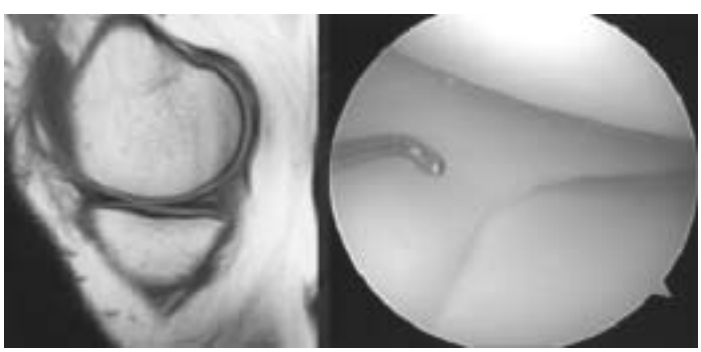


Рис. 5. **Переоценка степени повреждения заднего рога медиального мениска по данным МРТ.**

Заключение

Предоперационная МРТ коленного сустава характеризуется высокой вариабельностью диагностической эффективности. Наиболее частыми причинами низкой точности МРТ являются ошибки интерпретации томограмм, а именно, недооценка признаков повреждения ПКС и переоценка признаков повреждения ММ. С учетом высокой ценности МРТ как метода отбора пациентов на артроскопическую операцию эта методика показана всем пациентам с симптомами повреждения внутренних структур коленного сустава. Основными условиями успешного применения МРТ являются использование стандартизованных протоколов исследования и корректная интерпретация результатов. Наиболее перспективными направлениями развития лучевой диагностики повреждений суставов являются методики прямой КТ- и МР-артрографии с применением контрастных препаратов.

Литература

1. Миронов С.П., Орлецкий А.К., Цыкунов М.Б. Повреждения связок коленного сустава. – М., 1999. – 207 с.
2. Миронова З.С., Фалех Ф.Ю. Артроскопия и артрография коленного сустава. – М.: Медицина, 1982. – 111 с.
3. Сайт Американской академии хирургов-ортопедов – www.aaos.org.
4. Kocabey Y., Tetik O., Isbell W.M. et al. The value of clinical examination versus magnetic resonance imaging in the diagnosis of meniscal tears and anterior cruciate ligament rupture // Arthroscopy. – 2004 Sep. – № 20 (7). – P.696-700.
5. Vincken P.W., ter Braak B.P., van Erkell A.R. et al. Effectiveness of MR imaging in selection of patients for arthroscopy of the knee // Radiology. – 2002 Jun. – № 223 (3). – P.739-746.
6. Терновой С.К., Синицын В.Е. Развитие компьютерной томографии и лучевой диагностики // Тер. арх. – 2006. – №1. – С.10-12.
7. Krampla W., Roesel M., Svoboda K. et al. MRI of the knee: how do field strength and radiologist's experience influence diagnostic accuracy and interobserver correlation in assessing chondral and meniscal lesions and the integrity of the anterior cruciate ligament? // Eur. Radiol. – 2009 Jun. – № 19 (6). – P.1519-1528.
8. Magee T., Shapiro M., Williams D. MR accuracy and arthroscopic incidence of meniscal radial tears // Skeletal Radiol. – 2002 Dec. – № 31 (12). – P.686-689.
9. De Smet A.A., Graf B.K. Meniscal tears missed on MR imaging: relationship to meniscal tear patterns and anterior cruciate ligament tears // Am. J. Roentgenol. – 1994 Apr. – № 162 (4). – P.905-911.

Информация об авторах:

Терновой Сергей Константинович, доктор медицинских наук, профессор, академик РАМН, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова
Адрес: 119992, Москва, ул. М.Трубецкая, 8, стр.2
Телефон: (499) 248-7507
E-mail: prof_ternovoy@list.ru