

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ РАЗРЫВОВ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА



СЕРОВА Н.С., академик РАН, д.м.н., профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени

И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), dr.serova@yandex.ru



ТЕРНОВОЙ С.К., академик РАН, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Мин-

здрава России (Сеченовский Университет), главный научный сотрудник Института клинической кардиологии им. академика А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, заслуженный деятель науки Российской Федерации, info@cardioweb.ru



ФИЛИСТЕЕВ П.А., заместитель главного врача АНО ЦКБ Святителя Алексия Митрополита Московского Московской Патриархии Русской Православной Церкви, врач-рентгенолог ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации, pavel.filisteev@mail.ru



СЕМЕНОВ А.И., заведующий отделением травматологии и ортопедии АНО ЦКБ Святителя Алексия Митрополита Московского Московской Патриархии Русской Православной Церкви, drasemenov@yandex.ru



ЗАГОРОДНИЙ Н.В., академик РАН, д.м.н., профессор, заведующий 2 отделением эндопротезирования крупных суставов ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», лауреат премий Правительства России, заслуженный врач Российской Федерации, заслуженный деятель науки Российской Федерации, zagorodny51@mail.ru

Статья посвящена оценке эффективности функциональной магнитно-резонансной томографии в диагностике повреждений передней крестообразной связки коленного сустава.

Ключевые слова: функциональная магнитно-резонансная томография, нестабильность коленного сустава, передняя крестообразная связка (ПКС), разрыв ПКС, частичный, полный разрыв ПКС, коленный сустав.

FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN DIAGNOSING TEARS OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT OF THE KNEE JOINT

Serova N., Ternovoy S., Filisteev P., Semenov A., Zagorodny N.

The article focuses on the evaluation of efficiency of the functional magnetic resonance imaging in diagnosing of injures of the anterior cruciate ligament of the knee joint.

Key words: functional magnetic resonance imaging, instability in the knee joint, anterior cruciate ligament (ACL), ACL tear, partial, complete ACL tear, knee joint.

Введение

В клинической практике эффективное выявление разрывов передней крестообразной связки (ПКС), по сравнению с другими повреждениями коленного сустава (КС), до сих пор остается сложной задачей [1]. Только у 10–15% пациентов с разрывом ПКС правильно устанавливается диагноз при первоначальном обращении. Это задерживает хирургическое лечение или реабилитацию [2]. Своевременная и точная диагностика разрыва ПКС может предотвратить

прогрессирование травматического артроза, хронической нестабильности и повышенного риска повторного разрыва других связок и менисков [3].

Активно изучается диагностическая достоверность физикальных тестов для выявления разрыва ПКС [4]. Наиболее известными тестами в мировой травматологии являются тесты переднего выдвигающего ящика, Лахмана и Pivot-shift, а также получивший популярность в последнее время клинический тест Lever sign, или симптом рычага [5]. Данные тесты демонстрируют высокую чувствительность у пациентов с застарелыми, полными разрывами ПКС [6], в то время как для лиц с острой травмой, болезненным и опухшим коленом при частичном разрыве ПКС чувствительность может быть значительно меньше. Так, в исследовании A. Lelli et al. для теста Лахмана она составила 42%, переднего выдвигающего ящика – 29%, Pivot Shift – 11% [5]. В таких случаях МРТ играет ключевую роль для подтверждения диагноза разрыва ПКС.

МРТ позволяет провести детальную оценку связок и менисков КС, оценить степень повреждения ПКС и описать сопутствующие травмы [7].

Чувствительность МРТ в выявлении разрывов ПКС варьирует от 63% до 100%, специфичность – от 68% до 100% [8]. Это объясняется как сложностями положения и строения связки (кососагиттальный ход, двухпучковая структура), так и особенностями МРТ КС, оценивающей только анатомию ПКС (структурные аномалии в самой связке, нарушение непрерывности ее волокон, волнистый контур, изменение интенсивности МР-сигнала) [9]. Непрямые признаки разрыва ПКС на МРТ (гиперангуляция задней крестообразной связки, переднее смещение большеберцовой кости, контузия мышечков костей в типичном месте) повышают точность диагностики за счет косвенной оценки нестабильности в суставе [9].

Однако МРТ не позволяет оценить функцию ПКС в реальном времени и стабильность сустава в движении, что напрямую свидетельствует о целостности ПКС. Авторами данной статьи разработана методика функциональной МРТ (фМРТ) КС для повышения точности диагностики повреждения ПКС и нестабильности в суставе [10].

Цель исследования

Оценить чувствительность, специфичность, точность и достоверность фМРТ в диагностике повреждений ПКС КС.

Материалы и методы

Проведено МРТ-исследование 60 чел. в возрасте от 18 до 59 лет после перенесенной ими травмы КС с сомнительными или положительными признаками повреждения связочного аппарата (по данным клинического осмотра). Из них мужчин – 58,3% (n=35), женщин – 41,7% (n=25). Средний возраст – 34,6 года.

Все исследования проводились в АНО Центральная клиническая больница Святого Алексея Митрополита Московского Московской Патриархии Русской Православной Церкви (АНО ЦКБ святого Алексея) на МР-томографе 1,5 Тесла (GE HealthCare, США). Последовательно выполнялись стандартная МРТ КС и фМРТ. После клинического обследования и просмотра МР-изображений пациентам с подозрением на разрыв ПКС или другое повреждение КС проводилась артроскопия.

МР-исследования осуществлялись в среднем через 1 мес. после травмы КС. Средний интервал времени между МРТ, фМРТ и последующей артроскопией составил 50 дней.

Артроскопическая диагностика выявила нормальные ПКС у 25 чел., частичные разрывы ПКС – в 8 случаях, полные разрывы ПКС – у 27 пациентов.

Два опытных врача-рентгенолога с 15-летним (исследователь 1) и 9-летним (исследователь 2) стажем работы делали заключения по результатам МРТ- и фМРТ-исследований. Первоначально каждый исследователь оценивал состояние ПКС, используя МРТ КС, а затем фМРТ.

Тяжесть повреждения ПКС оценивалась по 3-балльной шкале, т.е. оценками 0, 1, 2 [11]. Степень 0 соответствовала нормальной, неповрежденной ПКС, степень 1 – частичному разрыву, степень 2 – полному разрыву. ПКС соответствовала норме при наличии низкой интенсивности сигнала во всех типах взвешенности, сохранении однородной структуры и достаточном натяжении с типичным ходом волокон. Гиперинтенсивный сигнал на протонно-взвешенных последовательностях, отек, утолщение или

истончение, разволокнение, локальная ангиляция ПКС при сохранении целостности расценивались как частичный разрыв. Диагноз полного разрыва ПКС был выставлен при нарушении непрерывности хода, полнослойных дефектах, аномальном ходе, смещении волокон связки, ее резком удлинении и истончении [11].

Использование непрямых признаков разрыва ПКС учитывалось при разграничении полных и частичных разрывов [11].

Для фМРТ авторами статьи были разработаны 4 новых – дополнительных – признака разрыва ПКС:

- появление дефектов, нарушение непрерывности хода волокон связки в движении;

- нарушение фаз изометрического сокращения и расслабления 2 пучков связки в движении;

- утрата связкой физиологических изгибов кзади (при разгибании) и кпереди (при сгибании);

- патологическое смещение переднего края большеберцовой кости кпереди относительно передней кортикальной пластинки бедренной кости при возврате сустава в положение разгибания (рис. 1).

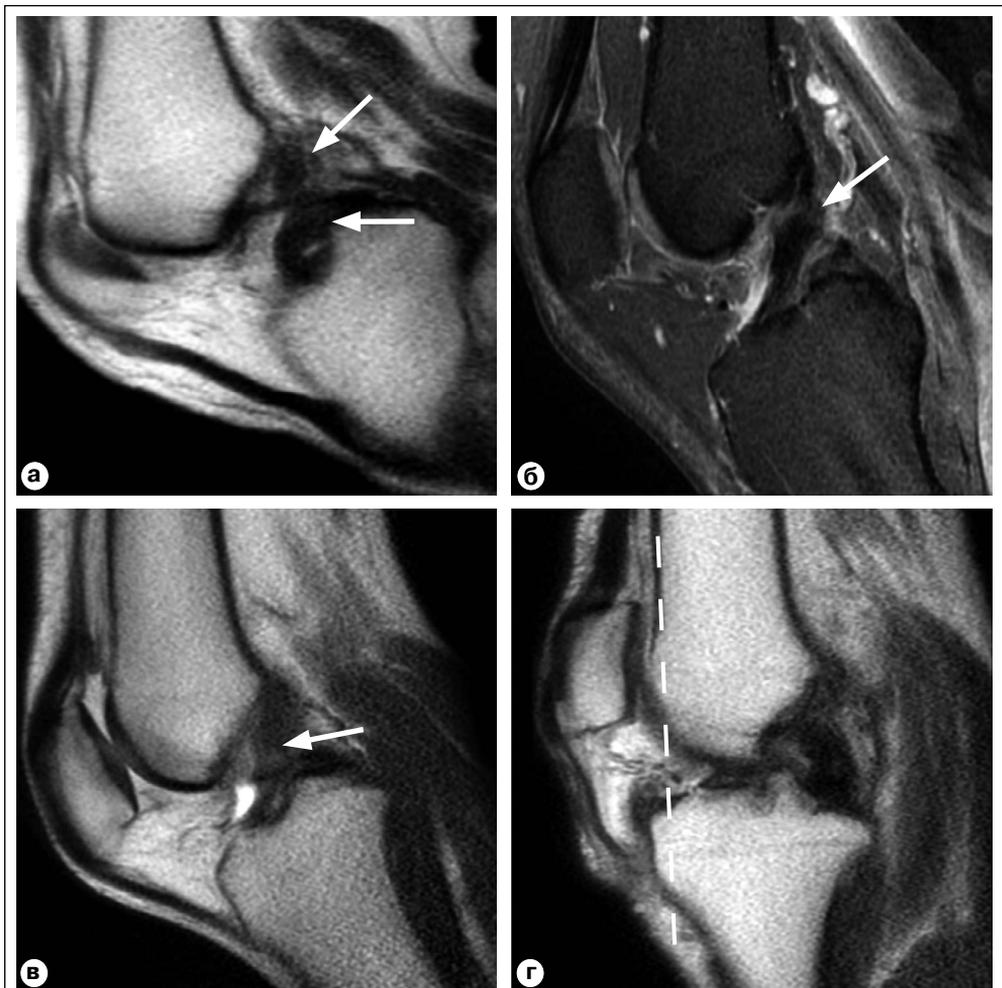


Рис. 1 а–г. Подозрение на разрыв ПКС пациента Б., 27 лет. Продемонстрированы дополнительные признаки разрыва. Примечания: стрелками показана ПКС; пунктирная линия проведена через переднюю кортикальную пластинку бедренной кости; на фМРТ: а) в положении сгибания на 60° отмечается дефект ПКС в среднем сегменте с наличием двух культей проксимальнее и дистальнее зоны разрыва (стрелки); б) в положении сгибания на 30° наблюдается потеря эластичности ПКС в средней порции при расслаблении переднемедиального (ПМ) и натяжении заднелатерального (ЗЛ) пучков с формированием локального утолщения связки и изменением МР-сигнала (стрелка); в) в положении сгибания на 45° отмечается отсутствие формирования физиологического изгиба связки кзади с ее провисанием (стрелка); г) при возврате колена в положение разгибания отмечается патологическое переднее смещение большеберцовой кости относительно бедренной (пунктирная линия).

Помимо оценки степени повреждения ПКС два врача оценивали уровень достоверности диагноза для МРТ и фМРТ на основе 5-балльной шкалы со значениями: 1 – полностью неопределенный, 2 – малая вероятность, 3 – сомнительно, 4 – вероятно, 5 – очень вероятно.

Результаты МРТ сравнивались с отчетами артроскопии в качестве эталонного стандарта для определения состояния ПКС.

Статистический анализ проводился с применением взвешенной каппа(k)-статистики для оценки диагностического согласия между результатами МРТ, фМРТ и артроскопии, а также межисследовательского согласия [12]. Степень согласия интерпретировалась по критериям [12]: 0 – плохое, 0,01–0,20 – незначительное, 0,21–0,40 – удовлетворительное, 0,41–0,60 – умеренное, 0,61–0,80 – существенное согласие, 0,81–1,00 – отличное.

Уровни достоверности интерпретации оценивались для МРТ или фМРТ, а разница в уровнях достоверности проверялась с помощью парного t-критерия.

Чувствительность, специфичность и точность обнаружения разрывов ПКС рассчитывались (исходя из тяжести повреждения ПКС) по 3-балльной шкале (0 – нормальная

ПКС, 1 – частичный разрыв, 2 – полный разрыв). Значение $p < 0,01$ считалось статистически значимым.

Результаты

Распределение пациентов по степени разрыва ПКС для каждого исследователя и для МРТ/фМРТ суммированы в табл. 1 и 2. Диагностическое согласие между МРТ и артроскопией для МРТ было «умеренным» и «удовлетворительным» со взвешенными значениями $k=0,4300$ (для исследователя 1) и $k=0,3794$ (для исследователя 2). В то же время показатели фМРТ были «отличными» и «существенными» со взвешенными значениями $k=0,8377$ (для исследователя 1) и $k=0,7624$ (для исследователя 2).

Исследователь 1 после просмотра фМРТ в 7 случаях уменьшил степень повреждения ПКС, в 10 случаях увеличил степень повреждения ПКС (всего 17 расхождений между заключениями МРТ и фМРТ). Исследователь 2 после просмотра фМРТ в 7 случаях уменьшил степень повреждения ПКС, в 9 случаях увеличил степень повреждения ПКС (всего 16 расхождений). Все случаи пересмотра заключения после фМРТ в сторону повышения степени повреждения ПКС оказались верными и подтвердились

Таблица 1

Распределение по степени разрыва ПКС пациентов на стандартной МРТ и артроскопии

Артроскопия	МРТ							
	Исследователь 1				Исследователь 2			
	0*	1*	2*	Всего	0*	1*	2*	Всего
Норма	16	8	1	25	14	10	1	25
Частичный разрыв	2	5	1	8	2	4	2	8
Полный разрыв	3	8	16	27	3	7	17	27
Всего:	21	21	18	60	19	21	20	60

Примечания: 1. * – степени разрыва ПКС: 0 – норма, 1 – частичный разрыв, 2 – полный разрыв. 2. Цифровые значения в таблице – количество пациентов.

Таблица 2

Распределение по степени разрыва ПКС пациентов на функциональной МРТ и артроскопии

Артроскопия	фМРТ							
	Исследователь 1				Исследователь 2			
	0*	1*	2*	Всего	0*	1*	2*	Всего
Норма	23	2	0	25	21	4	0	25
Частичный разрыв	1	6	1	8	2	6	0	8
Полный разрыв	0	2	25	27	0	3	24	27
Всего:	24	10	26	60	23	13	24	60

Примечания: см. табл. 1.

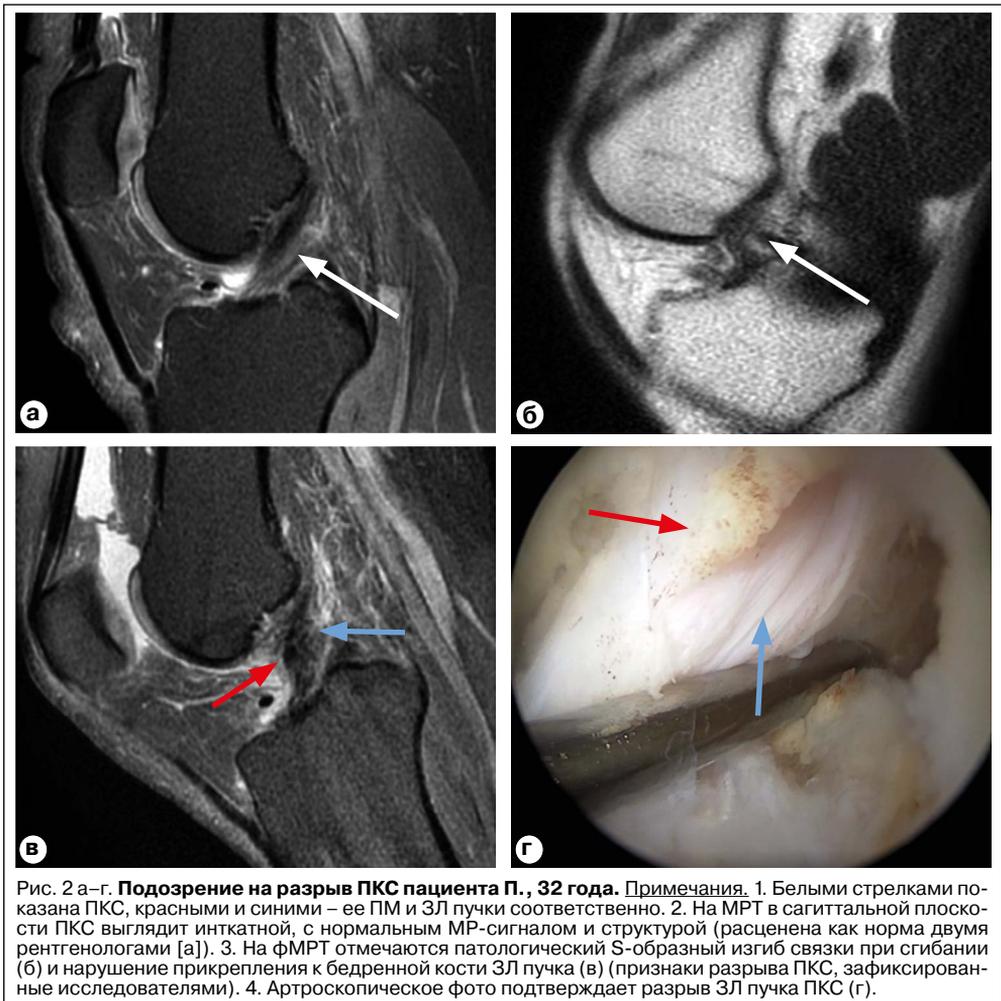


Рис. 2 а–г. Подозрение на разрыв ПКС пациента П., 32 года. Примечания. 1. Белыми стрелками показана ПКС, красными и синими – ее ПМ и ЗЛ пучки соответственно. 2. На МРТ в сагиттальной плоскости ПКС выглядит интактной, с нормальным МР-сигналом и структурой (расценена как норма двумя рентгенологами [а]). 3. На фМРТ отмечаются патологический S-образный изгиб связки при сгибании (б) и нарушение прикрепления к бедренной кости ЗЛ пучка (в) (признаки разрыва ПКС, зафиксированные исследователями). 4. Артроскопическое фото подтверждает разрыв ЗЛ пучка ПКС (г).

артроскопически, например: от нормы – к частичному разрыву (рис. 2) или от частичного разрыва – к полному (рис. 3 на с. 63).

По результатам фМРТ существенно сократилось количество ошибочных заключений «частичный разрыв» по данным классической МРТ (на 11 для – исследователя 1 и на 8 – для исследователя 2) и общее количество МР-диагнозов «частичный разрыв» ПКС в сравнении с классической МРТ (до 10 и 13 на фМРТ, по сравнению с 21 на МРТ для двух исследователей). Это произошло за счет понижения степени повреждения ПКС до нормы или повышения до полного разрыва на фМРТ, что коррелировало с данными последующей артроскопии (8 подтверждённых диагнозов «частичный разрыв»).

Оба исследователя после просмотра данных фМРТ поставили правильный диагноз в 6 случаях из 7, снизив степень поврежде-

ния ПКС, то есть: от частичного разрыва – к норме или от полного разрыва – к частичному/норме. В 1 случае оба исследователя расценили изменения ПКС на МРТ как полный разрыв, но по результатам фМРТ пересмотрели свой диагноз в сторону нормальной связки, что впоследствии было подтверждено артроскопически (рис. 4 на с. 64).

Согласие между исследователями оказалось «отличным» со взвешенными значениями $k=0,9$ (МРТ) и $k=0,8692$ (фМРТ).

Уровни достоверности оценки повреждения ПКС для МРТ и фМРТ указаны в табл. 3 на с. 64. Уровень достоверности правильного диагноза для фМРТ был значительно выше, чем для МРТ ($p<0,01$). Средний уровень достоверности правильного диагноза на МРТ и фМРТ был выше, чем неправильного, для каждого исследователя ($p<0,01$).

Чувствительность, специфичность и точность МРТ и фМРТ в диагностике разрыва ПКС были рассчитаны для каждой степени повреждения и указаны в табл. 4 на с. 64.

Чувствительность фМРТ в диагностике разрыва ПКС, по сравнению с МРТ, оказалась выше для каждой степени повреждения (на 28% – для нормальной ПКС, 18,7% – для частичного разрыва, 29,6% – для полного разрыва). Специфичность была существенно выше на фМРТ для частичного разрыва ПКС (на 21,2%), точность – для всех категорий с наибольшей разницей в детекции частичных разрывов (на 17,5% – для

нормальной ПКС, на 20,8% – для частичного разрыва, 16,7% – для полного разрыва).

Обсуждение

В литературе приводятся данные о выполнении фМРТ КС. Однако ни в одном исследовании не оценивалась точность диагностики разрывов ПКС на фМРТ. *N. Brisson et al.* для выполнения фМРТ использовали специальные фиксаторы колена, что привело к отсутствию свободных активных движений в суставе, а также вызвало ограничения по углу сгибания в 35° [13]. Другие исследователи посредством фМРТ визуализировали

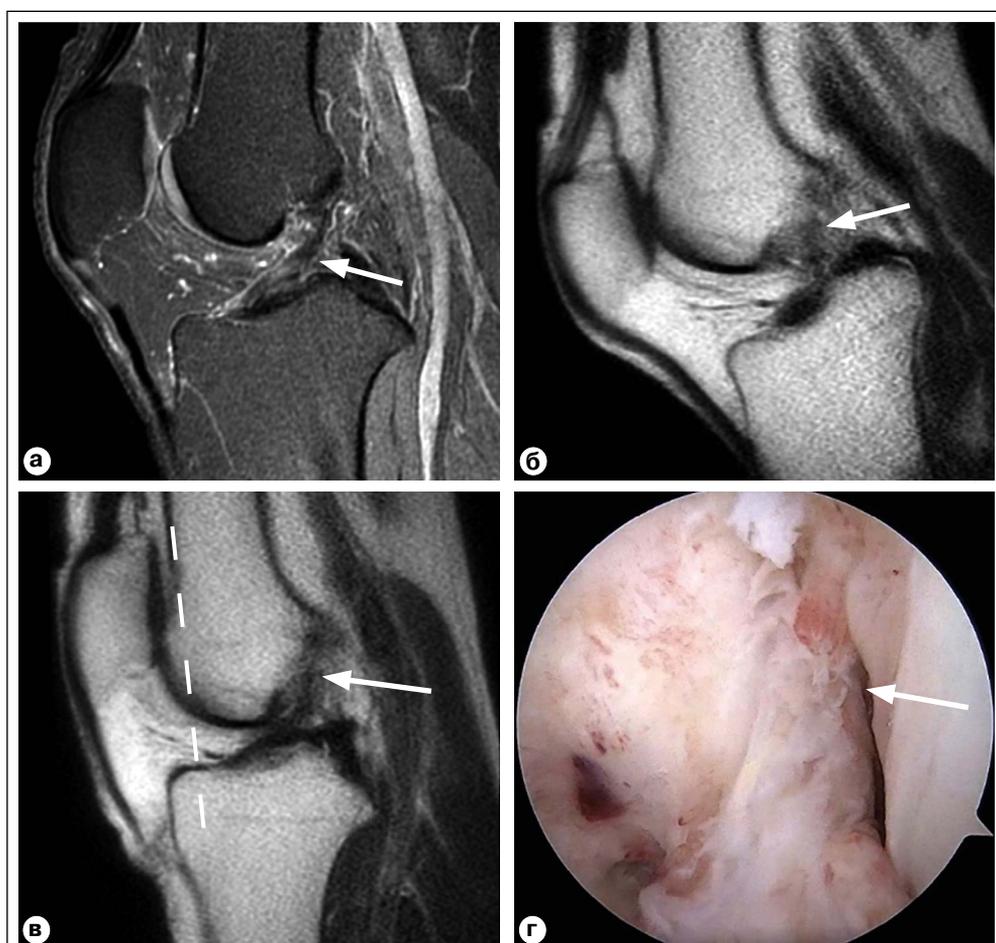


Рис. 3 а–г. Подозрение на разрыв ПКС пациентки К., 26 лет. Примечания. 1. Стрелками показана ПКС; пунктирная линия проведена через переднюю кортикальную пластинку бедренной кости. 2. На МРТ в сагиттальной плоскости (а) ПКС неоднородной структуры за счет участков повышения МР-сигнала, умеренно истончена, прослеживается на всем протяжении (изменения расценены двумя рентгенологами как частичный разрыв). 3. На фМРТ в положении сгибания (б) ПКС резко истончена, место ее прикрепления к бедренной кости не прослеживается; при возврате колена в положение разгибания (в) отмечается патологическое переднее смещение переднего края большеберцовой кости относительно кортикальной пластинки бедренной кости (изменения трактованы двумя рентгенологами как полный разрыв ПКС). 4. Артроскопическое фото подтверждает полный разрыв ПКС с формированием культи (г).

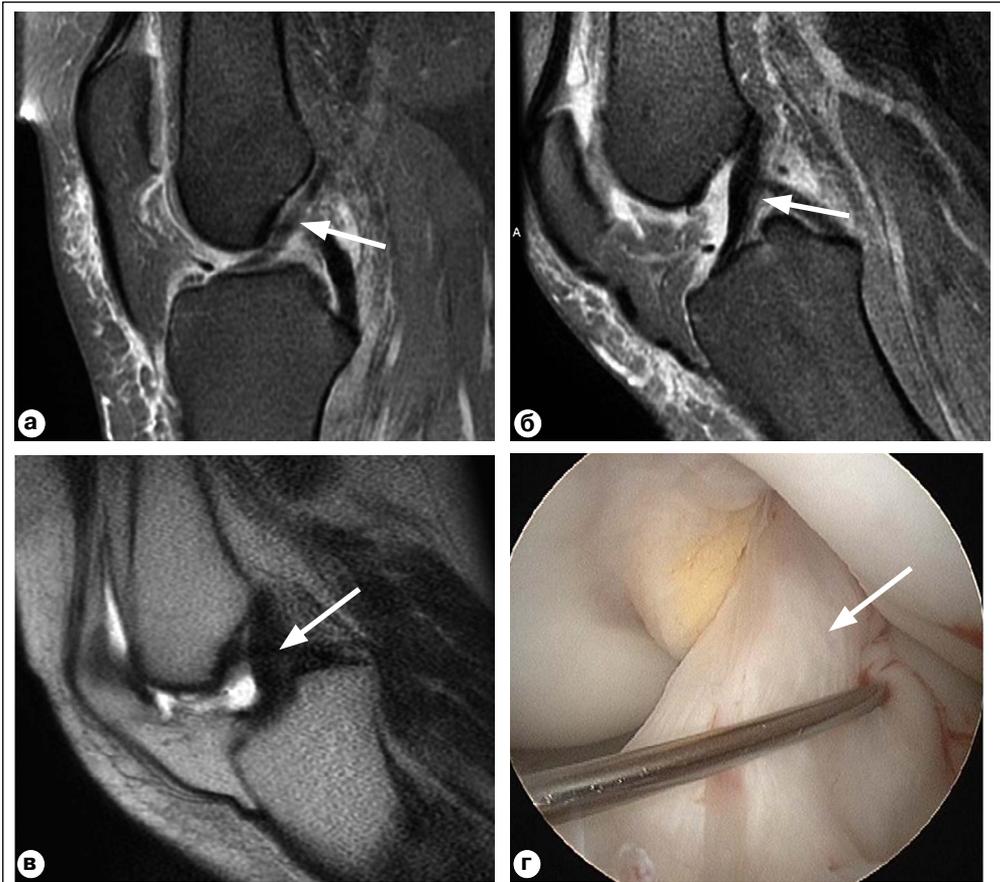


Рис. 4 а–г. Подозрение на разрыв ПКС пациента Д., 30 лет. Примечания. 1. Стрелками показана ПКС. 2. На МРТ в сагиттальной плоскости (а) ПКС отечна, разволокнена, натяжение ее снижено (изменения расценены как частичный разрыв [а]). 3. На фМРТ в положении сгибания в режимах PD FS с углом сгибания 30° (б) и T2 с углом сгибания 50° (в) ПКС имеет хорошее натяжение, однородную гипointенсивную структуру, отмечается ее физиологический плавный изгиб кзади (признаки нормальной ПКС на фМРТ, зафиксированные двумя рентгенологами). 4. Артроскопическое фото подтверждает нормальную неизмененную переднюю крестообразную связку у пациента (г).

Таблица 3

Уровни достоверности диагностики повреждения ПКС с помощью МРТ и фМРТ

Диагноз	Метод исследования	Исследователь 1		Исследователь 2	
		Количество пациентов	*Средний уровень достоверности	Количество пациентов	*Средний уровень достоверности
Верный	МРТ	37	3,8649	35	3,5429
	фМРТ	54	4,5	51	4,451
Ошибочный	МРТ	23	3,0870	25	3,2
	фМРТ	6	2,6667	9	3,1111

Примечание: * – средний уровень достоверности рассчитывается в диапазоне 1–5, где 5 – «очень вероятно».

Таблица 4

Чувствительность, специфичность и точность МРТ в диагностике разрыва ПКС

Диагноз	МРТ			фМРТ		
	Чувствительность	Специфичность	Точность	Чувствительность	Специфичность	Точность
Норма	60	85,7	75	88	87,2	92,5
Частичный разрыв	56,3	68,2	66,7	75	89,4	87,5
Полный разрыв	61,1	92,4	78,3	90,7	98,5	95

нестабильность менисков или пателло-фemorального сустава [14, 15].

В данном исследовании авторы провели фМРТ КС после МРТ по собственной методике [10], что привело к повышению чувствительности, специфичности и точности диагностики повреждения ПКС.

На фМРТ врачи-рентгенологи чаще и с большей уверенностью правильно трактовали степень повреждения ПКС, чем на обычной МРТ КС.

Наибольшие сложности в МР-диагностике по-прежнему связаны с частичными разрывами ПКС, которые могут достигать 30% всех случаев повреждений [16]. Небольшие травмы ПКС (менее 25% волокон) имеют благоприятный прогноз в отношении самостоятельного заживления. Частичные разрывы, вовлекающие 50–75% ПКС, или разрывы, сопровождающиеся повреждением одного из двух пучков, демонстрируют высокий риск прогрессии и полного разрыва в будущем [17].

Определение процента повреждения волокон ПКС, по данным МРТ, является сложной задачей [18]. Этим объясняется низкая точность диагностики (чувствительность 40–77%, специфичность 51–97%) частичных разрывов ПКС на МРТ [19, 20]. Проблемной для МРТ остается и диагностика полного субсиновиального разрыва (когда ПКС прослеживается на всем протяжении, наблюдаются лишь ее отек и дегенерация волокон, места фиксации к костям не изменены). Но при артроскопии определяется полный разрыв связки [20].

ФМРТ имеет преимущество перед МРТ в выявлении субсиновиальных разрывов ПКС, дифференцировании частичных и полных разрывов. Это становится возможным при оценке функционального состояния двух пучков ПКС в движении и определении нестабильности.

Повышение точности диагностики разрывов ПКС при фМРТ связано со следующими факторами:

- оценкой анатомии связки в различные фазы двигательного цикла (объем движений в суставе при фМРТ до 55–60°);

- анализом траектории движения и фаз изометрического сокращения/расслабления ПМ и ЗЛ пучков связки;

- детекцией переднезадней нестабильности в КС.

Использование фМРТ способствовало уменьшению ошибочных диагнозов частичного разрыва ПКС (по данным МРТ) в сторону нормы либо полного разрыва, что повлияло на тактику лечения пациентов.

Заключение

Авторы считают необходимым сообщить, что исследования были проведены с небольшим количеством пациентов с частичным разрывом ПКС. Не всегда выдерживался временной интервал между МРТ/фМРТ и артроскопией. Лица, попавшие в авторскую выборку, в большинстве своем имели сомнительные результаты клинических тестов по детекции разрыва ПКС, а их диагнозы относились к клинически сложным случаям. Все это могло повлиять на объективность результатов стандартного МР-исследования.

Тем не менее можно утверждать, что фМРТ КС повышает точность диагностики и достоверность оценки повреждения ПКС. ФМРТ, по сравнению с МРТ, повышает чувствительность на 28% для нормальной ПКС, на 18,7% – для частичного разрыва, на 29,6% – для полного разрыва, специфичность – на 21,2% для частичного разрыва и точность на 17,5% – для нормальной ПКС, на 20,8% – для частичного разрыва, на 16,7% – для полного разрыва.

ФМРТ ($k=0,838$ и $k=0,762$), по сравнению с МРТ ($k=0,430$ и $k=0,379$), значительно увеличивает диагностическое согласие с артроскопией для двух исследователей и повышает достоверность правильного диагноза при оценке ПКС.

Используемые в ходе настоящего исследования и перечисленные в статье новые признаки разрыва ПКС на фМРТ могут быть включены в семиотику повреждения ПКС на фМРТ и использоваться при проведении аналогичных функциональных исследований КС.

Литература

