

Обзор литературы

© Анастасиева Е.А., Симагаев Р.О., Кирилова И.А., 2020

УДК 616.728.3-001-089(048.8)

DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-1-117-128

Актуальные вопросы хирургического лечения повреждений передней крестообразной связки (обзор литературы)**Е.А. Анастасиева¹, Р.О. Симагаев^{1,2}, И.А. Кирилова¹**¹Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Новосибирск, Россия²Автономная некоммерческая организация «Клиника НИИТО», г. Новосибирск, Россия***Surgical treatment of anterior cruciate ligament injury (review)*****E.A. Anastasieva¹, R.O. Simagaev^{1,2}, I.A. Kirilova¹**¹Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russian Federation²Autonomous Non-profit Organization NRITO Clinic, Novosibirsk, Russian Federation

Передняя крестообразная связка является ключевым стабилизатором коленного сустава, препятствующим переднему смещению большеберцовой кости относительно бедра, а также ротационной нестабильности коленного сустава. Адекватное понимание сложной анатомии, функции и биомеханики, механизма и типа ее повреждения имеет огромное значение в выборе тактики лечения. Большое значение в комплексе диагностики передней нестабильности коленного сустава имеют данные клинических тестов, лучевых методов исследования. Учитывая все многообразие техник и имплантов для оперативного лечения передней нестабильности коленного сустава, существующих в настоящее время, для практикующего врача очень важно сделать правильный выбор метода или сочетания методов хирургической реконструкции передней крестообразной связки применительно к конкретному пациенту, учитывая индивидуальные риски развития гонартроза в последующем. Задача состоит в том, чтобы при наименьшей травматичности обеспечить ту стабильность коленного сустава, которая обеспечит скорейшее возвращение пациента на дооперационный уровень физической активности.

Ключевые слова: передняя нестабильность коленного сустава, повреждение передней крестообразной связки, восстановление передней крестообразной связки, лечение нестабильности коленного сустава

The anterior cruciate ligament (ACL) is the key stabilizer of the knee joint, which prevents the anterior displacement of the tibia relative the femur and rotational instability of the knee joint. Proper understanding of its complex anatomy, function and biomechanics, mechanism and the type of ACL injury is of great importance in choosing a treatment strategy. Findings of clinical tests and imaging methods have a significant value in the diagnosis of anterior knee joint instability. Considering all the variety of currently existing techniques and implants for operative treatment of anterior knee instability, the clinical practitioner should make the right choice of a method or combination of methods for surgical ACL reconstruction in a specific patient, taking into account individual risks of gonarthrosis. The goal is to ensure knee joint stability with the least invasiveness to allow the patient to return to the preoperative level of physical activity as soon as possible.

Keywords: anterior knee instability, anterior cruciate ligament injury, anterior cruciate ligament reconstruction, treatment of knee instability

ВВЕДЕНИЕ

Передняя крестообразная связка (ПКС) впервые была описана в 170 году нашей эры римским врачом и философом Галеном. В дальнейшем на протяжении более 1500 лет ей не предавалось особого значения, лишь в начале 20 века о ее повреждениях задумались вновь. С увеличением дорожно-транспортных травм, популяризации профессионального спорта повреждения передней крестообразной связки вышли на передний план ортопедических проблем [1]. До настоящего времени сложной проблемой современной травматологии остается выбор адекватного метода хирургического лечения нестабильности коленного сустава.

Вся история развития хирургии – стремление врачей предложить наиболее эффективные оперативные методы лечения, наносящие минимальную травму и обеспечивающие должный косметический эффект. Артроскопические или малоинвазивные (артроскопически контролируемые) операции способны восстановить первичную анатомию поврежденного сустава, сочетая в себе анатомическую обоснованность и минимальную травматичность, патогенетическую оправ-

данность и высокую функциональную эффективность [1, 2]. Только в США ежегодная потребность в операции по реконструкции ПКС при травме коленного сустава составляет от 100 000 до 200 000 операций в год [3]. При этом у женщин, занимающихся спортом, есть гораздо больший шанс повреждения передней крестообразной связки. Так, одна из 60-100 девушек-спортсменок имеет либо имела в прошлом повреждение передней крестообразной связки [4, 5]. Существуют программы физических упражнений для спортсменов с доказанной эффективностью снижения риска разрывов передней крестообразной связки [4, 6].

Основы анатомии и биомеханики передней крестообразной связки

Передняя крестообразная связка является ключевым стабилизатором коленного сустава, препятствующим переднему смещению большеберцовой кости относительно бедра, а также ротационной нестабильности коленного сустава [2]. Адекватное понимание сложной анатомии, функции и биомеханики передней крестообразной связки имеет решающее значение для

выяснения механизмов травматизма, понимания хронической передней нестабильности коленного сустава и улучшения хирургической техники.

Передняя крестообразная связка представляет собой широкую полосу соединительной ткани, прикрепляющуюся своим задним концом к внутренней заднемедиальной поверхности наружного мыщелка бедренной кости (рис. 1) [2, 5, 7]. Место прикрепления передней крестообразной связки на бедренной кости имеет форму полукруга, при этом передний край прямой, а задний – выпуклый по краю мыщелка бедра. От места прикрепления на мыщелке бедра передняя крестообразная связка направляется в медиальном и дистальном направлении к плато большеберцовой кости. ПКС прикрепляется дистальным концом к ямке межмыщелкового возвышения большеберцовой кости по переднему и внутреннему краю латерального бугорка, проходя передним своим краем под поперечной менисковой связкой (часть волокон может соединяться с передним рогом наружного мениска). Длина передней крестообразной связки составляет от 22 до 41 мм, ширина – от 7 до 12 мм [7, 8].

Площадь поперечного сечения передней крестообразной связки увеличивается в направлении от бедренной кости к большеберцовой, а именно: 34 мм² – проксимально, 33 мм² – в середине проксимального слоя, 35 мм² – в центре, 38 мм² – в середине дистального отдела и 42 мм² – дистально [7, 8]. При этом площадь зоны прикрепления на большеберцовой кости составляет 120 % по отношению в площади области прикрепления на бедренной кости [7, 8].



Рис. 1. Схема расположения передней крестообразной связки (левый коленный сустав), фронтальная проекция

Girgis с соавторами предлагают выделять две части ПКС: переднемедиальный и заднелатеральный пучки, проходящие по спирали [8], в то время как другие авторы выделяют в передней крестообразной связке три функциональных пучка (переднемедиальный, промежуточная полоса и заднелатеральный) [9]. В настоящее время двухпучковая модель ПКС является общепринятой для лучшего представления и понимания функции коленного сустава [8, 9].

Во фронтальной плоскости переднемедиальный пучок имеет более вертикальную ориентацию (приблизительно 70° к базовой линии колена), в то время как заднелатеральный пучок ориентирован более горизонтально (приблизительно 55° к базовой линии колена) [8, 9].

Когда коленный сустав находится в положении разгибания, заднелатеральный пучок находится в состоянии максимального натяжения, а переднемедиальный пучок –

в расслабленном состоянии. При сгибании коленного сустава происходит обратная динамика: переднемедиальный пучок натягивается, а заднелатеральный немного ослаблен. При этом надо понимать, что это упрощенное представление о кинематике коленного сустава [10].

Кроме того, Markolf и соавторы сообщили, что передняя крестообразная связка действует как вторичное ограничение варус-вальгусного и ротационного смещения [11].

Исходя из проанализированных литературных данных, можно выделить следующие основные моменты:

- передняя крестообразная связка изначально развита и состоит из двух пучков, каждый из которых не только дополняет функцию другого, но и выполняет свою важную роль в стабилизации коленного сустава;
- передняя крестообразная связка имеет сложную многослойную гистологическую структуру, позволяющую ей нелинейно увеличивать упругость в зависимости от нагрузки на разрыв;
- в прочности структуры передней крестообразной связки играет роль гормональный уровень эстрогенов;
- в кинематике коленного сустава роль играет комплекс «бедро – передняя крестообразная связка – большеберцовая кость», что обуславливает необходимость при выполнении пластики учитывать не только прочность трансплантата, но и тщательно выбирать метод его фиксации к костной основе;
- огромное значение в биомеханике и стабильности коленного сустава имеет баланс четырёхглавой и комплекса подколенных мышц;
- любая реконструкция передней крестообразной связки лишь отчасти восполняет биомеханическую и морфологическую составляющую нормальной анатомии и функции коленного сустава.

Механизм, факторы риска и программы профилактики повреждений передней крестообразной связки

Выявление факторов, связанных с повышенным риском травмы передней крестообразной связки во время спорта и физической активности, является центральной темой многих исследований [12–15].

По механизму большинство авторов различают «контактный» (связанный с прямым воздействием травмирующей силы) и «бесконтактный» (не связанный с прямыми воздействиями при движении) механизмы повреждения передней крестообразной связки [12, 13]. При этом бесконтактный механизм составляет около 70–75 % всех повреждений передней крестообразной связки [13]. Большинство спортсменов и молодых людей, ведущих активный образ жизни и участвующих в спортивных мероприятиях с бегом, поворотами и прыжками, имеет большой риск повреждения передней крестообразной связки именно вследствие непрямого или бесконтактного механизма повреждения передней крестообразной связки [12, 13]:

- внутренняя ротация голени с вальгусной деформацией в коленном суставе при фиксированной стопе является типичным механизмом, который приводит к разрыву передней крестообразной связки;
- моменты быстрого торможения, в том числе те, которые также включают в себя резкую остановку стопы, чтобы изменить направление, а также прыжки, поворот, скручивание, приземление и прямое воздействие на переднюю часть голени [13].

Три из четырех спортивных состязаний с самыми высокими коэффициентами травмы – женские виды спорта. Более того, во всех видах спорта травмы ПКС

среди женщин встречаются в 8–10 раз чаще, чем среди мужчин [14–16]. И это не случайность – во всех исследованиях отмечено, что женщины более подвержены травмам передней крестообразной связки, чем мужчины [14–16]. Причины до конца не выяснены, однако исследователи выявили следующие факторы, обуславливающие данную закономерность:

- относительно больший, чем у мужчин, фронтальный угол между бедром и голенью [17];
- ширина межмышечковой вырезки более узкая [18];
- меньшая сила мышц бедра, стабилизирующих коленный сустав при нагрузках [19];
- согласованность работы мышц-антагонистов бедра – более слабый ответ мышц подколенных сухожилий в условиях более сильного сокращения четырехглавой мышцы [20];
- гормональный профиль [21, 22].

В последнее время в литературе ведущее значение при оценках рисков разрывов передней крестообразной связки у спортсменов придается нейромышечному дисбалансу нижней конечности [23, 24]. При этом под нейромышечным дисбалансом понимают несколько predisposing факторов:

- 1) доминирование связок – дисбаланс между нейромышечным и связочным контролем стабильности коленного сустава [25];
- 2) доминирование четырехглавой мышцы – преобладание тонуса четырехглавой мышцы над мышцами задней группы бедра при выполнении прыжков, резких остановок и разгона при беге, приводящее к переднему и ротационному смещению голени относительно бедра [25];
- 3) доминирование конечности – более развитая мускулатура ведущей ноги у спортсменов [26];
- 4) доминирование корпуса – неспособность спортсмена контролировать свой центр тяжести [27].

Сочетание этих факторов и даже наличие какого-то одного увеличивает риск повреждения передней крестообразной связки. Большинство программ профилактики травм передней крестообразной связки, использующихся, в частности, при подготовке молодых профессиональных спортсменов, направлены как раз на уменьшение или предотвращение такого нейромышечного дисбаланса. Эти программы используют многогранный подход и включают компоненты подготовки проприорецепции, плиометрическое обучение, укрепление нейромышечных связей [28].

В настоящее время спортивные врачи отдают предпочтение программам, составленным из разных видов упражнений, направленных на снижение всех четырех факторов нейромышечного дисбаланса. В работе Sugimoto с соавторами (2014) показали эффективность таких программ, включающих разнообразные упражнения по нейромышечной подготовке спортсменов

[28]. Интересна также работа Swart и соавторов, показывающая не только медицинскую, но и финансовую эффективность таких программ [29].

Помимо анатомических, функциональных и половых факторов повреждения передней крестообразной связки, рассмотренных выше, существуют наследственная предрасположенность [30, 31] и такой фактор как наличие реконструкции передней крестообразной связки в анамнезе [27].

Генетически обусловленные особенности синтеза коллагена влияют как на прочность белковых связей в коллагене, так и на диаметр фибрилл [32]. Опять же, было доказано, что генетические особенности наследуются и более выражены по женской линии [33].

Ранее перенесенная реконструкция передней крестообразной связки является фактором риска как повреждения контралатерального коленного сустава, так и повторной травмы оперированного коленного сустава [27, 34]. Пациенты с повреждением передней крестообразной связки в течение последующего года после операции были от 4,4 до 11,3 раза, по данным некоторых исследований, до 30–40 раз [35], более подвержены повреждению трансплантата или контралатеральной передней крестообразной связки по сравнению с остальными спортсменами [27, 34, 35].

Существует также ряд внешних факторов, увеличивающих риск повреждения передней крестообразной связки: погода, обувь спортсмена, состояние и тип поверхности для спортивных занятий [36].

Для оценки риска повреждения передней крестообразной связки в каждом конкретном случае и связанных с этих мер профилактики необходимо учитывать как все эти факторы по отдельности, так и сочетания этих усиливающих друг друга рисков [36].

Диагностика повреждений передней крестообразной связки

Клиническое обследование является важным диагностическим аспектом при повреждении передней крестообразной связки для установления правильного диагноза и последующего принятия решения о выборе той или иной тактики лечения. Точность данных осмотра обычно оценивается сопоставлением положительных и отрицательных результатов клинических тестов, которые с определенной степенью вероятности соответствуют тому или иному виду повреждения передней крестообразной связки [37–39].

Для диагностики повреждения передней крестообразной связки во всем мире в настоящее время используются три основных клинических теста (рис. 2):

- 1) тест переднего выдвижного ящика (anterior drawer test);
- 2) тест Лахмана (Lachman's test);
- 3) тест поворотного сдвига (pivot shift test).

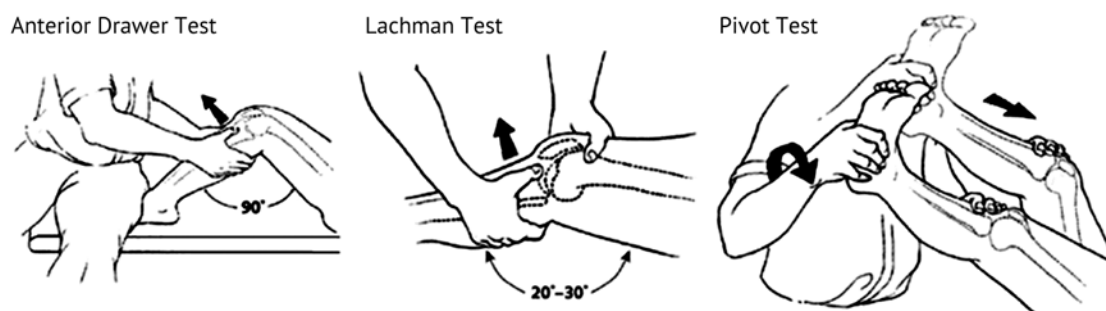


Рис. 2. Основные клинические тесты для оценки передней нестабильности коленного сустава

Тест «переднего выдвижного ящика» выполняется при сгибании пораженной конечности в тазобедренном суставе на 45 градусов и на 90 градусов – в коленном суставе. При этом врач при фиксированной стопе осуществляет двумя руками смещение вперед голени относительно бедра. При этом имеет значение не только величина, но и, главное, отсутствие четкой конечной точки переднего смещения.

Недостатки теста, которые могут привести к ложноотрицательным результатам [38]:

- при острой травме из-за наличия выпота, болевого синдрома и мышечного напряжения при сгибании в коленном суставе мышцы-сгибатели могут действовать как стабилизаторы, предотвращая переднее смещение большеберцовой кости;

- во-вторых, анатомия коленного сустава такова, что при сгибании в коленном суставе выпуклая задняя поверхность мыщелков бедра соответствует вогнутой поверхности плато большеберцовой кости и заднего рога внутреннего мениска, что также препятствует переднему смещению голени относительно бедра;

- ложноположительные результаты возникают, когда имеется повреждение задней крестообразной связки [40].

Тест Лахмана выполняется в положении пациента на спине при небольшом сгибании в коленном суставе (от 0 до 15 градусов). Врач производит переднее смещение голени относительно бедра поврежденной конечности, осуществляя противоположно направленное усилие руками. Тест считается положительным, когда отсутствует четкая конечная точка при значительном переднезаднем смещении голени относительно бедра. При этом важное значение имеет конечная точка движения, описанная как «мягкая» [38]. Тест обладает высокой чувствительностью и специфичностью для острых и хронических повреждений передней крестообразной связки, однако малочувствителен для частичных повреждений передней крестообразной связки.

Тест «поворотного сдвига» воспроизводит то смещение голени относительно бедра, которое сами пациенты описывают как «подкашивающееся колено». При недостаточной функции передней крестообразной связки при небольшом сгибании и ротационной нагрузке происходит передний подвывих голени, что, собственно, и есть тест поворотного сдвига или «pivot shift test» [38]. Возможны ложноотрицательные результаты при частичном повреждении передней крестообразной связки [41, 42].

Главными моментами основных клинических тестов является следующее:

- 1) тесты на переднее смещение голени (переднего выдвижного ящика и Лахмана) имеют высокую чувствительность, особенно при хронической передней нестабильности коленного сустава;

- 2) тест поворотного сдвига имеет очень высокую специфичность и может указывать на наличие повреждения именно передней крестообразной связки;

- 3) чувствительность и специфичность тестов повышается после применения анестезии.

Огромное значение в комплексе диагностики передней нестабильности коленного сустава имеют данные лучевых методов исследования. Так, МРТ-диагностика имеет особое значение при наличии не только полных, но

и частичных разрывов передней крестообразной связки [43]. Тем не менее, следует понимать, что любой тест и любое лучевое исследование нельзя рассматривать отдельно друг от друга. Только совокупные клинические и параклинические данные пациента могут дать абсолютную уверенность в верификации диагноза повреждения передней крестообразной связки. В этой связи «классические» лучевые методы исследования, такие как рентгенография коленного сустава, в плане дифференциальной диагностики и диагностики сопутствующих повреждений остаются актуальными и сегодня [2, 16].

Если рассматривать диагностическую артроскопию коленного сустава как метод диагностики повреждения передней крестообразной связки, то при наличии несомненно высокой чувствительности и специфичности [2] у него имеется один главный недостаток – это инвазивность метода.

Среди неинвазивных методов обследования в последнее время все большее значение придается использованию ряда аппаратов для измерения переднего смещения голени относительно бедра. Наиболее известными и используемыми в клинической практике являются устройства KT 1000®, KT 2000®, Rolimeter® и Telos®. Их использование для постановки диагнозов является более точным в случаях подострого и хронического повреждения передней крестообразной связки. Следует иметь в виду, что эти устройства оценивают только переднее смещение голени без какой-либо ротационной оценки. Их использование в сочетании с другими исследованиями является основополагающим для постановки диагноза и определения терапии [39–42].

Основные классификации и виды повреждений передней крестообразной связки

Исходя из анатомических особенностей, Zantop и соавторы (2007) предложили классифицировать разрывы передней крестообразной связки по отношению к двум ее пучкам (табл. 1) [44]. Разделяют полные или тотальные и частичные или парциальные разрывы передней крестообразной связки [44]. При полном повреждении имеются разрывы обоих пучков, тогда как при частичном разрыве имеется или переднемедиальный, или заднелатеральный пучки передней крестообразной связки. Виды повреждений и возникающее вследствие этого состояние – передняя нестабильность коленного сустава – определяют в дальнейшем тактику и вид оперативного лечения. Gächter более 25 лет назад предложил различать следующие виды полного или тотального повреждения передней крестообразной связки (табл. 2) [45].

Эта классификация, хотя и является очень полной и подробной, вследствие своей громоздкости на практике в настоящее время практически не используется. Для практического применения в 1997 году Американской Ассоциацией Хирургов Ортопедов (AAOS) разработана упрощенная классификация повреждений передней крестообразной связки, которая оказалась удобнее для выбора тактики лечения как частичного, так и полного повреждения передней крестообразной связки (табл. 3) [44].

Гораздо позже для лучшего понимания, в том числе частичного повреждения передней крестообразной связки, была предложена другая классификация, также основанная на морфологических особенностях (рис. 3) [44].

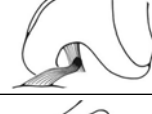
Таблица 1

Классификация разрывов ПКС по отношению к двум ее пучкам (Zantop, 2007)

Тип поражения	Передне медиальный пучок	Задне латеральный пучок
Отрыв от бедренной кости	1	A
Разрыв в центральной части	2	B
Отрыв от большеберцовой кости	3	C
Удлиненный, функционально недостаточный	4	D
Интakтный	5	E

Таблица 2

Классификация повреждений ПКС по Gächter

	Тип I. Полный разрыв ПКС с разволокнением отдельных пучков, всегда приводит к нестабильности и сопровождается гемартрозом коленного сустава
	Тип II. Внутрисиновиальный разрыв, когда синовиальная оболочка остается неповрежденной, может быть повреждением только одного пучка передней крестообразной связки. На МРТ может иметь симптомы, характерные для нормальной связки и клинически проявляться каким-то одним из симптомов передней или ротационной нестабильности, гемартроз отсутствует
	Тип III. Отрыв передней крестообразной связки от большеберцовой кости с участком надкостницы (может сопровождаться переломом Сегонда [44]). Одно из редких повреждений, характерное для молодых людей и поддающееся консервативному лечению. При рентгенографии коленного сустава повреждение просматривается в виде отрывного перелома межмыщелкового возвышения большеберцовой кости и, возможно, перелома Сегонда. При пункции коленного сустава в остром периоде травмы в пунктате вместе с кровью обнаруживаются капли костного жира
	Тип IV. Отрыв передней крестообразной связки от мыщелков бедра с образованием культи. Нередко приводит к блокаде и последующей сгибательной контрактуре коленного сустава, вследствие чего клинические тесты на переднюю нестабильность могут быть ложноотрицательными
	Тип V. Отрыв от мыщелков бедра, сопровождающийся рубцеванием пучков передней крестообразной связки с волокнами задней крестообразной связки. При артроскопии волокна передней крестообразной связки отсутствуют в месте прикрепления к мыщелку бедренной кости. Также ложноотрицательными могут быть клинические тесты и имеются трудности в трактовке МРТ-изображений
	Тип VI. Волокна передней крестообразной связки полностью или частично подверглись резорбции. Развивается в течение от нескольких недель до нескольких лет после первичной травмы передней крестообразной связки. Это самый «простой» для диагностики и одновременно самый «тяжелый» для пациента вид повреждения передней крестообразной связки и передней нестабильности коленного сустава. Все клинические тесты и МРТ-диагностика не вызывают трудностей

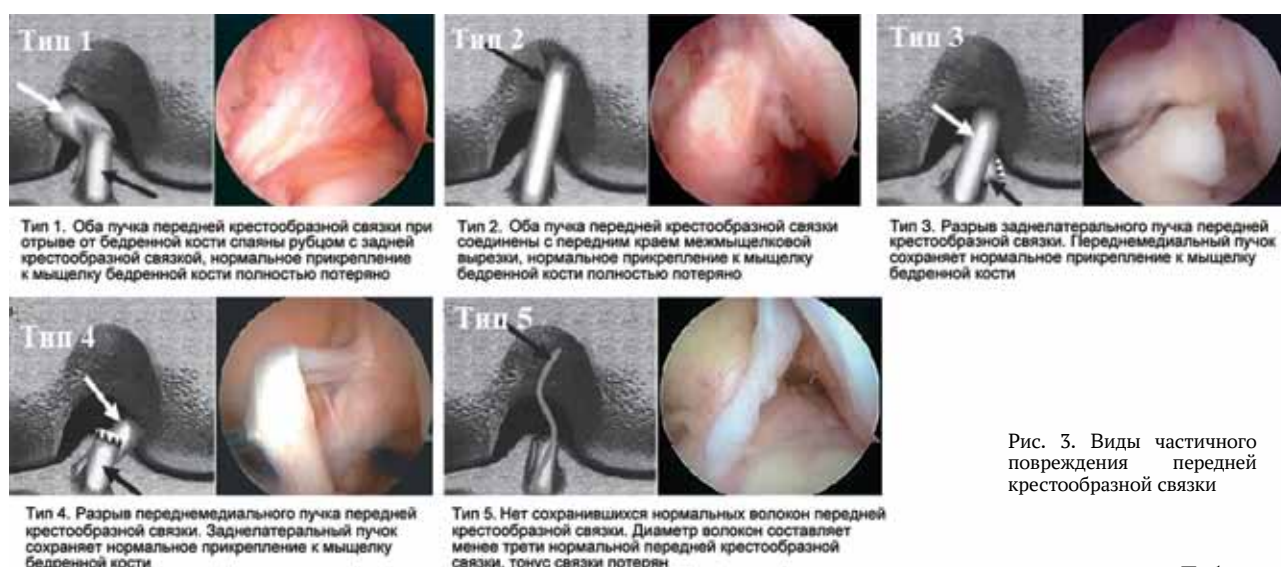


Рис. 3. Виды частичного повреждения передней крестообразной связки

Таблица 3

Классификация повреждений передней крестообразной связки (AAOS, 1997)

Степень повреждения	Характеристика
1 степень	Передняя крестообразная связка слегка растянута, но по-прежнему обеспечивает стабильность коленного сустава
2 степень	Соответствует частичному или парциальному повреждению передней крестообразной связки, то есть повреждению одного из пучков
3 степень	Соответствует тотальному или полному повреждению передней крестообразной связки, которое всегда сопровождается передней нестабильностью коленного сустава

Повреждения передней крестообразной связки часто ассоциируются с повреждениями других структур коленного сустава:

- в 96,5 % случаев повреждений задней крестообразной связки имеется повреждение передней крестообразной связки или другая многоплоскостная нестабильность [44, 46];
- в 95 % случаев повреждения медиальной коллатеральной связки повреждается передняя крестообразная связка [44, 47];
- в 26–60 % вместе с повреждением передней крестообразной связки обязательно повреждается один из менисков [44, 46];
- от 9 до 12 % всех повреждений передней крестообразной связки происходит вместе с переломом Сегонда [44, 48].

К сожалению, в настоящее время не существует приемлемой и удобной для клиницистов классификации повреждений передней крестообразной связки, учитывающей как специфику ее повреждений, так и повреждения других структур коленного сустава.

Обзор современных методов хирургического лечения больных с повреждением передней крестообразной связки

Первое, с чем сталкивается любой хирург, – это выбор трансплантата для реконструкции передней крестообразной связки. В настоящее время наиболее распространенными в мире являются операции реконструкции передней крестообразной связки аутооттрансплантатами из сухожилия собственной связки надколенника (BTV-bone-tendon-bone) или из сухожилий полусухожильной и тонкой мышц (ST-soft tissue) [2, 16, 44, 46, 47, 48, 49]. Большинство исследователей не находят существенной разницы, однако кроме существенных различий в хирургической технике и тот и другой метод все же имеют свои достоинства и недостатки.

К недостаткам использования BTV-аутооттрансплантата относятся, во-первых, выраженный болевой синдром в переднем отделе (место забора сухожилия собственной связки надколенника) коленного сустава, иногда сохраняющийся несколько лет, во-вторых, довольно часто наблюдаемое ограничение разгибания в коленном суставе [49].

К основным недостаткам ST-аутооттрансплантата относится тенденция к более частым, по сравнению с BTV, повторным разрывам и, соответственно, рецидиву передней нестабильности коленного сустава, особенно у профессиональных спортсменов [49].

Noyes и соавторы показали (1984), что у BTV прочность достигает 168 % от естественной передней крестообразной связки, что явилось лучшим показателем. При этом прочность сухожилия полусухожильной мышцы достигает только 70 % от естественной (у других аутооттрансплантатов еще ниже) передней крестообразной связки. Однако, по заявлению авторов, прочность не имеет значения для достижения хорошего результата, если нет надежной фиксации и прочного сращения с костью [50]. Другим важным преимуществом BTV является как раз более быстрое в течение 6 недель врастание кость-в-кость этого аутооттрансплантата по сравнению с ST (в течение 4–6 месяцев). Это может быть важным преимуществом для метода выбора у спортсменов высокого уровня для быстрого возвращения к спорту.

Следующим не менее важным моментом для врача является выбор между реконструкцией обоих пучков передней крестообразной связки или реконструкцией

с восстановлением передней крестообразной связки одним пучком. Были проведены несколько биомеханических исследований, показывающих, что восстановление обоих пучков передней крестообразной связки, по сравнению с однопучковой реконструкцией, значительно лучше устраняет не только переднюю, но и ротационную нестабильность в поврежденном коленном суставе, соответственно, может в большей степени снизить риск развития гонартроза после операции. При этом, что касается клинических результатов, то имеются работы как подтверждающие преимущества восстановления обоих пучков передней крестообразной связки [51], так и говорящие о том, что нет никакой разницы между результатами после восстановления передней крестообразной связки как одним пучком, так и двумя пучками [52].

Ibrahim и соавторы в своем исследовании сообщили, что, хотя клинически не было никакой разницы между этими способами восстановления передней крестообразной связки, тем не менее, при сравнении стабильности коленного сустава на аппарате KT 1000 (MEDmetric, San Diego, CA) результаты после восстановления обоих пучков передней крестообразной связки были значительно лучше [53]. Yasuda и соавторы при сравнении стабильности коленного сустава пришли к выводу о лучшей ротационной стабильности коленного сустава после восстановления обоих пучков передней крестообразной связки, при этом при сравнении результатов по шкале IKDS существенных различий также не было [54].

Tiamklang и соавторы провели интересное исследование, в ходе которого показали, что не было разницы в ближайших (до года) клинических результатах и количеством осложнений между двухпучковой и однопучковой реконструкцией ПКС. Тем не менее, они обнаружили, что двухпучковый метод реконструкции передней крестообразной связки, во-первых, позволял с большей вероятностью вернуться на дооперационный уровень физической активности (91 % против 82 %); во-вторых, после двухпучковой реконструкции были лучшие клинические результаты в долгосрочной перспективе (более года) по шкале IKDS (94 % против 90 %). Существовали также такие различия в пользу реконструкции обоих пучков как снижение в дальнейшем риска повреждения менисков (3,75 % против 6,7 %) и повторного разрыва передней крестообразной связки (0,8 % против 5,4 %) [53].

Большинство случаев рецидивов передней нестабильности коленного сустава после реконструкции передней крестообразной связки связано с неправильным позиционированием и формированием бедренного канала [2, 27, 44, 54]. В настоящее время существуют три типа способов создания бедренного канала, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки: это транстибиальная техника проведения канала, антеро-медиальная техника и техника проведения бедренного канала «снаружи-внутри» с использованием ретроградного сверла.

Основными недостатками транстибиальной техники, когда бедренный канал формируется по направлению из большеберцового канала, являются трудности в правильном позиционировании, очень часто сложно бывает попасть в место прикрепления естественной передней крестообразной связки к бедренной кости [55].

Когда бедренный канал формируется из антерио-медиального или дополнительного доступа изнутри

коленного, хирург вынужден как можно сильнее сгибать коленный сустав, что, во-первых, резко ухудшает визуализацию места прикрепления передней крестообразной связки к бедренной кости, а во-вторых, при недостаточном сгибании можно нарушить заднюю стенку латерального мыщелка бедренной кости или даже травмировать малоберцовый нерв [56].

Недостатком техники проведения бедренного канала снаружи-внутри, когда при помощи ретроградного сверла по специальному направлятелю изнутри снаружи рассверливается канал необходимого диаметра, является то, что ретроградное сверло иногда проходит мимо желательной точки на бедренной кости, и при рассверливании часто получается канал большего диаметра, чем нужно [56].

Вне зависимости от способа формирования канала основным моментом является правильное позиционирование бедренного канала, при этом также важно как можно бережнее относиться к остаткам культи передней крестообразной связки, пытаясь сохранить как можно больше естественных волокон для сохранения проприорецепции и лучшей реваскуляризации трансплантата [2, 16, 55].

Еще одним важным моментом является выбор метода фиксации трансплантата передней крестообразной связки к бедренной и большеберцовой кости. Надежная фиксация трансплантата к кости обеспечивает стабильность в раннем послеоперационном периоде и, соответственно, дает возможность ранней реабилитации пациента. При этом сам фиксатор не должен препятствовать вращению аутоотрансплантата. Изучение на животных показали, что фиксатор является слабым звеном в течение 6 недель после операции с использованием ВТВ-трансплантата и в течение 12 недель после операции с использованием ST-трансплантата [57]. Что очень важно учитывать при использовании биодеградируемых фиксаторов. Существует три группы фиксаторов, используемых в настоящее время для операции реконструкции передней крестообразной связки (рис. 4).



Рис. 4. Варианты фиксаторов для реконструкции передней крестообразной связки

Учитывая все многообразие техник и имплантов для оперативного лечения передней нестабильности коленного сустава, существующих в настоящее время, для практикующего врача очень важно сделать

правильный выбор метода или сочетания методов хирургической реконструкции передней крестообразной связки применительно к конкретному пациенту. Задача состоит в том, чтобы при наименьшей травматичности обеспечить ту стабильность коленного сустава, которая обеспечит скорейшее возвращение пациента на дооперационный уровень физической активности.

Факторы развития гонартроза после хирургического лечения передней нестабильности коленного сустава

После травмы передней крестообразной связки возможно развитие преждевременного гонартроза. А учитывая, что высокие эпидемиологические показатели травм ПКС выявляются у молодых людей и подростков, ведущих активный образ жизни, можно предположить, что развитие гонартроза придется на их самый продуктивный и социально значимый возраст [2, 24, 29, 58]. Таким образом, снижение риска преждевременного развития дегенеративно-дистрофической патологии коленного сустава после травмы ПКС с повреждением внутрисуставного хряща, менисков, учитывая последующее восстановление, является клиническим приоритетом [58].

Однако имеет место следующий парадокс: по данным инструментальных методов, при острой травме травмируются латеральные отделы сустава, в то время как артрозные изменения в дальнейшем проявляются, в первую очередь, в медиальных отделах. Это говорит о том, что главная роль в развитии гонартроза после реконструкции передней крестообразной связки принадлежит вовсе не последствиям острой травмы, а иным факторам. Изменения кинематики коленного сустава существенны и, к сожалению, полностью не корректируются после хирургической операции, эти нарушения остаются значимыми даже при обычной ходьбе [58].

Повреждения ПКС нарушают три параметра в биомеханике коленного сустава: во-первых, появляется передняя нестабильность коленного сустава, проявляющаяся в избыточном переднем смещении голени относительно бедра; во-вторых, изменяется ось вращения коленного сустава, проявляющаяся «pivot-shift» симптомом; в-третьих, теряется синхронизация и конгруэнтность суставных поверхностей медиальных мыщелков бедренной и большеберцовой костей.

При восстановлении ПКС основной акцент в большинстве хирургических методик отдается именно устранению передней нестабильности, при этом основная нагрузка вследствие сохраняющейся ротационной нестабильности приходится на медиальный мениск и медиальные отделы сустава [2, 16]. Впоследствии это приводит к повреждениям медиального мениска и развитию артрозных изменений в медиальных отделах коленного сустава. Именно поэтому сохранение функции медиального мениска является последним барьером для развития гонартроза [29, 58] (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость развития гонартроза от видов хирургического лечения повреждений медиального мениска и передней крестообразной связки

Повреждения внутреннего мениска и передней крестообразной связки	Процент развития гонартроза в течение ближайших 10 лет после операции
Резекция медиального мениска и отказ от реконструкции передней крестообразной связки	100
Резекция медиального мениска и реконструкция передней крестообразной связки	24-45
Реконструкция передней крестообразной связки при неповрежденном медиальном мениске	4-11

Исходя из этого, очевидно, что оперативное лечение передней нестабильности должно быть направлено на: во-первых, устранение передней и ротационной нестабильности коленного сустава и, во-вторых, на сохранение и защиту менисков и предотвращение развития гонартроза.

Подходы к реабилитации и восстановительной терапии после хирургического лечения передней нестабильности коленного сустава

Основой для успешного возвращения на предоперационный уровень физической активности после реконструкции передней крестообразной связки является поэтапная индивидуальная реабилитация пациента [59]. Задачи реабилитационного лечения состоят в восстановлении мышечного баланса и силы мышц конечности, проприорецепции и снижения риска повторной травмы передней крестообразной связки [2, 16, 59].

Адекватная сила четырехглавой мышцы бедра является критическим компонентом восстановления после реконструкции передней крестообразной связки. Более того, дефицит силы четырехглавой мышцы может быть ключевым фактором для возникновения повторной травмы передней крестообразной связки и рецидива передней нестабильности коленного сустава [59].

Немедленная послеоперационная реабилитация начинается через 2-7 дней после операции. Цели этапа состоят в том, чтобы восстановить объём движений, способствовать активации четырехглавой мышцы, уменьшить отек и боль (воспалительный процесс в коленном суставе), обеспечить безопасность и эффективность передвижения в быту. При этом функции четырехглавой мышцы отдается первостепенное значение [59]. Разрешаются изокинетические упражнения и упражнения, направленные на восстановление движений в коленном суставе от 0 до 90 градусов. В дальнейшем после восстановления объёма движений и тонуса четырехглавой мышцы и при отсутствии признаков воспаления в суставе через 3-4 месяца после операции разрешаются занятия на беговой дорожке и в тренажерном зале. Не ранее чем через 4-6 месяцев после операции разрешаются сгибание в коленном суставе более 90 градусов и прыжки, при этом тонус четырехглавой мышцы должен быть полностью восстановлен, а признаки воспаления в суставе должны отсутствовать. Только в самом конце реабилитационного лечения, не ранее чем через 6-8 месяцев, разрешаются упражнения, включающие ротацию в коленном суставе на фиксированной стопе и бег по пересеченной местности. На этом этапе разрешаются упражнения, специфичные для того вида спорта, который является приоритетным для пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Операция по реконструкции передней крестообразной связки – одна из наиболее популярных ортопедических процедур в мировой практике. В течение последних десятилетий значительно расширились и изменились как показания к этой операции, так и все клинические аспекты – от диагностики и хирургической техники до принципов реабилитационного лечения. Несмотря на актуальность и распространенность, до настоящего времени в мировой литературе существуют противоречия, которые указывают на ряд нерешенных проблем.

Критериями для возвращения на предоперационный уровень физической активности служат тесты на функцию, использующие в качестве эталона контралатеральную конечность [60]. В качестве стандарта для определения готовности пациента к возвращению в спорт предложены четыре теста: одиночный прыжок в длину с места, тройной прыжок с разбега, тройной прыжок на бегу поочередно правой и левой ногой и прыжки на протяжении 6 метров (рис. 5). Все прыжки должны быть произведены на одинаковое расстояние обеими нижними конечностями, при этом должно быть сохранено равновесие без привлечения движений туловища и рук. Пациенту разрешается приступить к тренировкам с основной группой спортсменов при условии, что эти тесты пройдены.

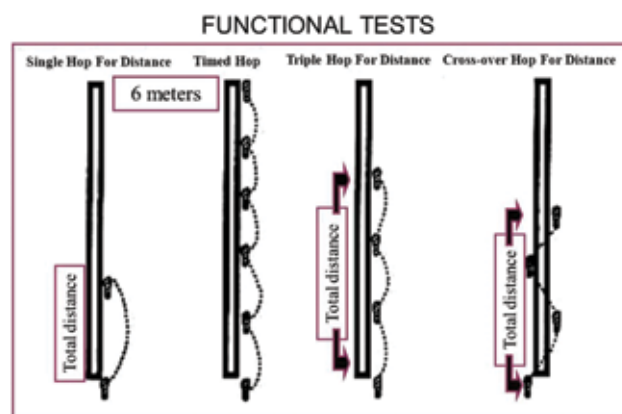


Рис. 5. Функциональные тесты для определения восстановления функции коленного сустава после реконструкции передней крестообразной связки

Кроме функциональных существуют также психологические факторы, которые могут искажать результаты этих тестов и замедлять возвращение пациентов к активному образу жизни. Так, повышенный страх перед движением и боязнь повторной травмы многими авторами были признаны одними из таких факторов [60].

Эти принципы реабилитации лежат в основе восстановительного лечения, позволяющего спортсменам вернуться на дооперационный уровень физической активности. При этом на данный момент не существует определенной программы, принятой для какой-то конкретной методики хирургического лечения, а есть только общие рекомендации.

Безусловно, успех всего лечения передней нестабильности коленного сустава зависит не только от правильно выполненной операции, но и от эффективности реабилитации, включающей физиопроцедуры, кинезиотерапию, комплексы упражнений лечебной физкультуры и работу психолога.

Доказательная медицина – это, в частности, вариант, когда врач использует наилучшую доступную литературу для принятия решений по лечению для своего пациента. Хотя не всегда есть идеальный ответ для каждого клинического случая, мы сделали попытку представить актуальную и непредвзятую информацию по данному вопросу с целью помочь практикующим врачам доказательно, на основании современных литературных данных, принимать наилучшее для пациента клиническое решение.

ЛИТЕРАТУРА

- Agel J., Klossner D. Epidemiologic review of collegiate ACL injury rates across 14 sports: national collegiate athletic association injury surveillance system data 2004-05 through 2011-12 // Br. J. Sports Med. 2014. Vol. 48. P. 560. DOI: 10.1136/bjsports-2014-093494.2.
- Рикун О.В., Хоминец В.В., Федотов А.О. Современные тенденции в хирургическом лечении пациентов с разрывами передней крестообразной связки (обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. 2017. Т. 23, № 4. С. 134-145. DOI 10.21823/2311-2905-2017-23-4-134-145.
- "What's my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?" A systematic review with meta-analysis / A.M. Montalvo, D.K. Schneider, L. Yut, K.E. Webster, B. Beynnon, M.S. Kocher, G.D. Myer // Br. J. Sports Med. 2018. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096274.
- Potach D., Myer G., Grindstaff T.L. Special Consideration: Female athlete and ACL injury prevention. In: The Pediatric Anterior Cruciate Ligament: Evaluation and Management Strategies. Cham: Springer International Publishing, 2018. P. 251-283. DOI: 10.1007/978-3-319-64771-5_24.
- ABCs of evidence-based anterior cruciate ligament injury prevention strategies in female athletes / D. Sugimoto, G.D. Myer, L.J. Micheli, T.E. Hewett // Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep. 2015. Vol. 3, No 1. P. 43-49. DOI: 10.1007/s40141-014-0076-8.
- Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Programs / J.O. Sanders, G.A. Brown, J. Murray, R. Pezold, K. Sevarino // J. Am. Acad. Orthop. Surg. 2017. Vol. 25, No 4. P. e79-e82. DOI: 10.5435/JAAOS-D-16-00756.
- Quantitative comparison of the microscopic anatomy of the human ACL femoral and tibial entheses / M.L. Beaulieu, G.E. Carey, S.H. Schlecht, E.M. Wojtys, J.A. Ashton-Miller // J. Orthop. Res. 2015. Vol. 33, No 12. P. 1811-1817. DOI: 10.1002/jor.22966.
- Siebold R. Flat ACL anatomy: fact no fiction // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2015. Vol. 23, No 11. P. 3133-3135. DOI: 10.1007/s00167-015-3818-y.
- Suzuki D., Otsubo H. The anatomical features of ACL insertion sites and their implications for multi-bundle reconstruction. In: ACL Injury and Its Treatment / Eds.: M. Ochi, K. Shino, K. Yasuda, M. Kurosaka. Tokyo: Springer, 2016. P. 17-26. DOI: 10.1007/978-4-431-55858-3_2.
- Lord B., Amis A.A. The envelope of laxity of the pivot shift test. In: Rotatory Knee Instability: An Evidence Based Approach / Eds.: V. Musahl, J. Karlsson, R. Kuroda, S. Zaffagnini. Cham: Springer, 2017. Part IV. P. 223-234. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32070-0_18.
- Englander Z., Stinton S.K., Branch T.P. How to predict knee kinematics during an ACL injury. In: Return to Play in Football / Eds.: V. Musahl, J. Karlsson, W. Krusch, B.R. Mandelbaum, J. Espregueira-Mendes, P. d'Hooghe. Berlin, Heidelberg: Springer, ESKA, 2018. P. 47-61. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-55713-6_4.
- Koga H., Muneta T. ACL Injury Mechanisms. In: ACL Injury and Its Treatment / Eds.: M. Ochi, K. Shino, K. Yasuda, M. Kurosaka. Tokyo: Springer, 2016. P. 113-125. DOI: 10.1007/978-4-431-55858-3_10.
- Mechanism of Injury and Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury / N.G. Wetters, A. Weber, Th.H. Wuerz, D.L. Schub // Operative Techniques in Sports Medicine. 2016. Vol. 24, No 1. DOI: 10.1053/j.otsm.2015.09.001.
- Injuries in women's international ice hockey: an 8-year study of the World Championship tournaments and Olympic Winter Games / M. Tuominen, M.J. Stuart, M. Aubry, P. Kannus, K. Tokola, J. Parkkari // Br. J. Sports Med. 2016. Vol. 50, No 22. P. 1406-1412. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094647.
- Shoe and field surface risk factors for acute lower extremity injuries among female youth soccer players / J.W. O'Kane, K.E. Gray, M.R. Levy, M. Neradilek, A.F. Tencer, N.L. Polissar, M.A. Schiff // Clin. J. Sports Med. 2016. Vol. 26, No 3. P. 245-250. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000236.
- Anterior cruciate ligament injuries: diagnosis, treatment, and prevention / C.R. LaBella, W. Hennrikus, T.E. Hewett; Council on Sports Medicine and Fitness, and Section on Orthopaedics // Pediatrics. 2014. Vol. 133, No 5. P. e1437-e1450. DOI: 10.1542/peds.2014-0623.
- Sigward S.M., Cesar G.M., Havens K.L. Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45 and 110 degrees in men and women: Implications for Anterior Cruciate Ligament injury // Clin. J. Sport. Med. 2015. Vol. 25, No 6. P. 529-534. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000155.
- Narrow intercondylar notch and anterior cruciate ligament injury in female nonathletes with knee osteoarthritis aged 41-65 years in plateau region / B. Geng, J. Wang, J.L. Ma, B. Zhang, J. Jiang, X.Y. Tan, Y.Y. Xia // Chin. Med. J. 2016. Vol. 129, No 21. P. 2540-2545. DOI: 10.4103/0366-6999.192771.
- Combined anatomic factors predicting risk of anterior cruciate ligament injury for males and females / D.R. Sturtnick, P.M. Vacek, M.J. DeSarno, M.G. Gardner-Morse, T.W. Tourville, J.R. Slauterbeck, R.J. Johnson, S.J. Shultz, B.D. Beynnon // Am. J. Sports Med. 2015. Vol. 43, No 4. P. 839-847. DOI: 10.1177/0363546514563277.
- Barber-Westin S.D., Noyes F.R. Risk factors for anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. In: Noyes' Knee Disorders: Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes / Ed.: F.R. Noyes. Philadelphia: Saunders, 2009. P. 359-378.
- Shultz S.J. The effect of sex hormones on ligament structure, joint stability and ACL injury risk. In: Sex Hormones, Exercise and Women. Scientific and Clinical Aspects / Ed.: A.C. Hackney. Cham: Springer, 2017. P. 113-138. DOI: 10.1007/978-3-319-44558-8_7.
- Athletic activity and hormone concentrations in high school female athletes / E.M. Wojtys, M.L. Jannausch, J.L. Kreinbrink, S.D. Harlow, M.R. Sowers // J. Athl. Train. 2015. Vol. 50, No 2. P. 185-192. DOI: 10.4085/1062-6050-49.3.62.
- Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis / D. Sugimoto, G.D. Myer, K.D. Barber Foss, M.J. Pepin, L.J. Micheli, T.E. Hewett // Br. J. Sports Med. 2016. Vol. 50, No 20. P. 1259-1266. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095596.
- Utilization of ACL injury biomechanical and neuromuscular risk profile analysis to determine the effectiveness of neuromuscular training / T.E. Hewett, K.R. Ford, Y.Y. Xu, J. Khoury, G.D. Myer // Am. J. Sports Med. 2016. Vol. 44, No 12. P. 3146-3151. DOI: 10.1177/0363546516656373.
- Roux E.C. Evaluation of a Sport-Specific Performance Task Associated with a Lower Extremity Injury Prevention Program: Master's Theses. University of Connecticut, 2015. Available at: https://opencommons.uconn.edu/gs_theses/774.
- A Review of Field-based Assessments of Neuromuscular Control and Their Utility in Male Youth Soccer Players / P.J. Read, J.L. Oliver, M.B.A. De Ste Croix, G.D. Myer, R.S. Lloyd // J. Strength Cond. Res. 2017. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002069.
- Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport / M.V. Paterno, M.J. Rauh, L.C. Schmitt, K.R. Ford, T.E. Hewett // Am. J. Sports Med. 2014. Vol. 42, No 7. P. 1567-1573. DOI: 10.1177/0363546514530088.
- Specific exercise effects of preventive neuromuscular training intervention on anterior cruciate ligament injury risk reduction in young females: meta-analysis and subgroup analysis / D. Sugimoto, G.D. Myer, K.D. Foss, T.E. Hewett // Br. J. Sports Med. 2015. Vol. 49, No 5. P. 282-289. DOI: 10.1136/bjsports-2014-093461.
- Prevention and screening programs for anterior cruciate ligament injuries in young athletes: a cost-effectiveness analysis / E. Swart, L. Redler, P.D. Fabricant, B.R. Mandelbaum, C.S. Ahmad, Y.C. Wang // J. Bone Joint Surg. Am. 2014. Vol. 96, No 9. P. 705-711. DOI: 10.2106/JBJS.M.00560.
- Keays S.L., Keays R.C., Newcombe P.A. What predisposes siblings to anterior cruciate ligament injury? Femoral notch width size in siblings with and without ACL injury // Physiotherapy. 2015. Vol. 101, No Suppl. 1. P. e736-e737. DOI: 10.1016/j.physio.2015.03.3599.
- Westin M., Reeds-Lundqvist S., Werner S. The correlation between anterior cruciate ligament injury in elite alpine skiers and their parents // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2016. Vol. 24, No 3. P. 697-701. DOI: 10.1007/s00167-014-2974-9.
- Interactions between collagen gene variants and risk of anterior cruciate ligament rupture / K. O'Connell, H. Knight, K. Ficek, A. Leonska-Duniec, A. Maciejewska-Karlowska, M. Sawczuk, M. Stepień-Słodkowska, D. O'Quinnagain, W. van der Merwe, M. Posthumus, P. Cieszczyk, M. Collins // Eur. J. Sport Sci. 2015. Vol. 15, No 4. P. 341-350. DOI: 10.1080/17461391.2014.936324.
- Gene expression differences between ruptured anterior cruciate ligaments in young male and female subjects / J.S. Johnson, M.A. Morscher, K.C. Jones, S.M. Moen, C.J. Klonek, R. Jacquet, W.J. Landis // J. Bone Joint Surg. Am. 2015. Vol. 97, No 1. P. 71-79. DOI: 10.2106/JBJS.N.00246.
- Risk factors and predictors of subsequent ACL injury in either knee after ACL reconstruction: prospective analysis of 2488 primary ACL reconstructions from the MOON cohort / C.C. Kaeding, A.D. Pedroza, E.K. Reinke, L.J. Huston; MOON Consortium, K.P. Spindler // Am. J. Sports Med. 2015. Vol. 43, No 7. P. 1583-1590. DOI: 10.1177/0363546515578836.
- Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis / A.J. Wiggins, R.K. Grandhi, D.K. Schneider, D. Stanfield, K.E. Webster, G.D. Myer // Am. J. Sports Med. 2016. Vol. 44, No 7. P. 1861-1876. DOI: 10.1177/0363546515621554.

36. Weber A.E., Bach B.R., Bedi A. How Do We Eliminate Risk Factors for ACL Injury? In: In: Rotatory Knee Instability: An Evidence Based Approach / Eds.: V. Musahl, J. Karlsson, R. Kuroda, S. Zaffagnini. Cham: Springer, 2017. P. 465-472. DOI: 10.1007/978-3-319-32070-0_39.
37. Accuracy of clinical tests in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: a systematic review / M.S. Swain, N. Henschke, S.J. Kamper, A.S. Downie, B.W. Koes, C.G. Maher // Chiropr. Man. Therap. 2014. Vol. 22, P. 25. DOI: 10.1186/s12998-014-0025-8.
38. Factors associated with high-grade Lachman, pivot shift, and anterior drawer at the time of anterior cruciate ligament reconstruction / R.A. Magnussen, E.K. Reinke, L.J. Huston, MOON Group, T.E. Hewett, K.P. Spindler // Arthroscopy. 2016. Vol. 32, No 6. P. 1080-1085. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.11.018.
39. The reliability of physical examination tests for the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture – a systematic review / T. Lange, A. Freiberg, P. Dröge, J. Lütznier, J. Schmitt, C. Kopkow // Man. Ther. 2015. Vol. 20, No 3. P. 402-411. DOI: 10.1016/j.math.2014.11.003.
40. Cadaveric evaluation of the lateral-anterior drawer test for examining posterior cruciate ligament integrity / G.H. Seeber, M.P. Wilhelm, G. Windisch, H.J. Appell Coriolano, O.C. Matthijs, P.S. Sizer // Int. J. Sports Phys. Therapy. 2017. Vol. 12, No 4. P. 569-580.
41. Quantitative comparison of the pivot shift test results before and after anterior cruciate ligament reconstruction by using the three-dimensional electromagnetic measurement system / K. Nagai, Y. Hoshino, Y. Nishizawa, D. Araki, T. Matsushita, T. Matsumoto, K. Takayama, K. Nagamune, M. Kurosaka, R. Kuroda // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2015. Vol. 23, No 10. P. 2876-2881. DOI: 10.1007/s00167-015-3776-4.
42. Evaluation of pivot shift phenomenon while awake and under anaesthesia by different manoeuvres using triaxial accelerometer / K. Nakamura, H. Koga, I. Sekiya, T. Watanabe, T. Mochizuki, M. Horie, T. Nakamura, K. Otake, T. Muneta // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2017. Vol. 25, No 8. P. 2377-2383. DOI: 10.1007/s00167-015-3740-3.
43. Brady M.P., Weiss W. Clinical Diagnostic Tests Versus MRI Diagnosis of ACL Tears // J. Sport. Rehabil. 2018. P. 1-5. DOI: 10.1123/jsr.2016-0188.
44. Diagnosis of Partial ACL Rupture / M. Ochi, D. Dejour, A. Nakamae, P.G. Ntagiopoulos. In: Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. An Evidence-Based Medicine Approach / Eds.: N. Nakamura, S. Zaffagnini, R.G. Marx, V. Musahl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. P. 301-311. DOI: 10.1007/978-3-662-52742-9_28.
45. Gächter A. The various faces of anterior cruciate ligament tears during arthroscopic examination. In: The knee and the Cruciate Ligaments. Anatomy Biomechanics, Clinical Aspects, Reconstruction, Complications, Rehabilitation / Eds.: R.P. Jacob, H.-U. Stäubli. Berlin, Heidelberg: Springer, 1992. P. 190-192. DOI: 10.1007/978-3-642-84463-8_16.
46. Jackson T., Ganley Th.J. Treatment of Concomitant Pathology During ACL Reconstruction. In: The Pediatric Anterior Cruciate Ligament / Ed.: S. Parikh. Cham: Springer, 2018. P. 169-181. DOI: 10.1007/978-3-319-64771-5_17.
47. Treatment of MCL Injury in Combined ACL/MCL Injury / D. Whelan, M. Chowdhry, M. Hantes, N. Nakamura, Y. Yonetoni. In: Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. An Evidence-Based Medicine Approach / Eds.: N. Nakamura, S. Zaffagnini, R.G. Marx, V. Musahl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. P. 371-387. DOI: 10.1007/978-3-662-52742-9_34.
48. The Second fracture: a bony injury of the anterolateral ligament of the knee / S. Claes, T. Luyckx, E. Vereecke, J. Bellemans // Arthroscopy. 2014. Vol. 30, No 11. P. 1475-1482. DOI: 10.1016/j.arthro.2014.05.039.
49. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction / X. Xie, X. Liu, Z. Chen, Y. Yu, S. Peng, Q. Li // Knee. 2015. Vol. 22, No 2. P. 100-110. DOI: 10.1016/j.knee.2014.11.014.
50. Regional mechanical properties of human patellar tendon allografts / A. Yanke, R. Bell, A. Lee, E.F. Shewman, V. Wang, B.R. Bach Jr. // Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2015. Vol. 23, No 4. P. 961-967. DOI: 10.1007/s00167-013-2768-5.
51. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions: a prospective, randomized study with 2-year follow-up / Z. Zhang, B. Gu, W. Zhu, L. Zhu // Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol. 2014. Vol. 24, No 4. P. 559-565. DOI: 10.1007/s00590-013-1221-2.
52. Comparison of Clinical Outcomes Following Anatomic Single vs. Double-Bundle ACL Reconstruction: A Randomized Clinical Trial / J.J. Irrgang, S. Tashman, Ch. Moore, V. Musahl, R.V. West, A. Oostdyk, B. Galvin, F.H. Fu // Orthop. J. Sports Med. 2017. Vol. 5, No 7 suppl.6. DOI: 10.1177/2325967117S00248.
53. Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction / S. Irarrázaval, J.H. Watson, M. Albers, D. Guenther, F.H. Fu. In: Rotatory Knee Instability: An Evidence Based Approach / Eds.: V. Musahl, J. Karlsson, R. Kuroda, S. Zaffagnini. Cham: Springer, 2017. P. 365-377. DOI: 10.1007/978-3-319-32070-0_31.
54. Yasuda K., Kondo E., Kitamura N. Anatomic Double-Bundle Reconstruction Procedure. In: ACL Injury and Its Treatment / Eds.: M. Ochi, K. Shino, K. Yasuda, M. Kurosaka. Tokyo: Springer, 2016. P. 303-317. DOI: 10.1007/978-4-431-55858-3_25.
55. Dhawan A., Gallo R.A., Lynch S.A. Anatomic tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction // J. Am. Acad. Orthop. Surg. 2016. Vol. 24, No 7. P. 443-454. DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00465.
56. Advantages and disadvantages of transtibial, anteromedial portal, and outside-in femoral tunnel drilling in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review / B.N. Robin, S.S. Jani, S.C. Marvil, J.B. Reid, C.K. Schillhammer, J.H. Lubowitz // Arthroscopy. 2015. Vol. 31, No 7. P. 1412-1417. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.01.018.
57. Pros and Cons of Different ACL Graft Fixation Devices / P.K. Herickhoff, M.R. Safran, P. Yung, K.-M. Chan. In: Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. An Evidence-Based Medicine Approach / Eds.: N. Nakamura, S. Zaffagnini, R.G. Marx, V. Musahl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. P. 277-288. DOI: 10.1007/978-3-662-52742-9_26.
58. Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial / B. Barenius, S. Ponzer, A. Shalabi, R. Bujak, L. Norlén, K. Eriksson // Am. J. Sports Med. 2014. Vol. 42, No 5. P. 1049-1057. DOI: 10.1177/0363546514526139.
59. Thomeé R., Waldén M., Häggglund M. Return to sports after anterior cruciate ligament injury: neither surgery nor rehabilitation alone guarantees success – it is much more complicated // Br. J. Sports Med. 2015. Vol. 49, No 22. P. 1422. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094793.
60. Relationships of Functional Tests Following ACL Reconstruction: Exploratory Factor Analyses of the Lower Extremity Assessment Protocol / M. DiFabio, L.V. Slater, G. Norte, J. Goetschius, J.M. Hart, J. Hertel // J. Sport. Rehabil. 2018. Vol. 27, No 2. P. 144-150. DOI: 10.1123/jsr.2016-0126.

REFERENCES

1. Agel J., Klossner D. Epidemiologic review of collegiate ACL injury rates across 14 sports: national collegiate athletic association injury surveillance system data 2004-05 through 2011-12. *Br. J. Sports Med.*, 2014, vol. 48, pp. 560-560. DOI: 10.1136/bjsports-2014-093494.2.
2. Rikun O.V., Khominets V.V., Fedotov A.O. Sovremennye tendentsii v khirurgicheskoy lechenii patsientov s razryvami perednei krestobraznoi svyazki (obzor literatury) [Modern tendencies in surgical treatment of patients with the anterior cruciate ligament tears (review of the literature)]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2017, vol. 23, no. 4, pp. 134-145. (in Russian) DOI 10.21823/2311-2905-2017-23-4-134-145.
3. Montalvo A.M., Schneider D.K., Yut L., Webster K.E., Beynon B., Kocher M.S., Myer G.D. "What's my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?" A systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med.*, 2018. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096274.
4. Potach D., Myer G., Grindstaff T.L. Special Consideration: Female athlete and ACL injury prevention. In: *The Pediatric Anterior Cruciate Ligament: Evaluation and Management Strategies*. Cham, Springer International Publishing, 2018, pp. 251-283. DOI: 10.1007/978-3-319-64771-5_24.
5. Sugimoto D., Myer G.D., Micheli L.J., Hewett T.E. ABCs of evidence-based anterior cruciate ligament injury prevention strategies in female athletes. *Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep.*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 43-49. DOI: 10.1007/s40141-014-0076-8.
6. Sanders J.O., Brown G.A., Murray J., Pezold R., Sevarino K. Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Programs. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 2017, vol. 25, no. 4, pp. e79-e82. DOI: 10.5435/JAAOS-D-16-00756.
7. Beaulieu M.L., Carey G.E., Schlecht S.H., Wojtyś E.M., Ashton-Miller J.A. Quantitative comparison of the microscopic anatomy of the human ACL femoral and tibial entheses. *J. Orthop. Res.*, 2015, vol. 33, no. 12, pp. 1811-1817. DOI: 10.1002/jor.22966.
8. Siebold R. Flat ACL anatomy: fact no fiction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2015, vol. 23, no. 11, pp. 3133-3135. DOI: 10.1007/s00167-015-3818-y.
9. Suzuki D., Otsubo H. The anatomical features of ACL insertion sites and their implications for multi-bundle reconstruction. In: Ochi M., Shino K., Yasuda K., Kurosaka M., editors. *ACL Injury and Its Treatment*. Tokyo, Springer, 2016, pp. 17-26. DOI: 10.1007/978-4-431-55858-3_2.

10. Lord B., Amis A.A. The envelope of laxity of the pivot shift test. In: V. Musahl, J. Karlsson, R. Kuroda, S. Zaffagnini, editors. *Rotatory Knee Instability: An Evidence Based Approach*. Cham, Springer, 2017, Part IV, pp. 223-234. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32070-0_18.
11. Englander Z., Stinton S.K., Branch T.P. How to predict knee kinematics during an ACL injury. In: Musahl V., Karlsson J., Krutsch W., Mandelbaum B.R., Espregueira-Mendes J., d'Hooghe P., editors. *Return to Play in Football*. Berlin, Heidelberg, Springer, ESSKA, 2018, pp. 47-61. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-55713-6_4.
12. Koga H., Muneta T. ACL Injury Mechanisms. In: Ochi M., Shino K., Yasuda K., Kurosaka M., editors. *ACL Injury and Its Treatment*. Tokyo, Springer, 2016, pp. 113-125. DOI: [10.1007/978-4-431-55858-3_10](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55858-3_10).
13. Wetters N.G., Weber A., Wuerz Th.H., Schub D.L. Mechanism of Injury and Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 2016, vol. 24, no. 1. DOI: [10.1053/j.otsm.2015.09.001](https://doi.org/10.1053/j.otsm.2015.09.001).
14. Tuominen M., Stuart M.J., Aubry M., Kannus P., Tokola K., Parkkari J. Injuries in women's international ice hockey: an 8-year study of the World Championship tournaments and Olympic Winter Games. *Br. J. Sports Med.*, 2016, vol. 50, no. 22, pp. 1406-1412. DOI: [10.1136/bjsports-2015-094647](https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094647).
15. O'Kane J.W., Gray K.E., Levy M.R., Neradilek M., Tencer A.F., Polissar N.L., Schiff M.A. Shoe and field surface risk factors for acute lower extremity injuries among female youth soccer players. *Clin. J. Sports Med.*, 2016, vol. 26, no. 3, pp. 245-250. DOI: [10.1097/JSM.0000000000000236](https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000236).
16. LaBella C.R., Hennrikus W., Hewett T.E.; Council on Sports Medicine and Fitness, and Section on Orthopaedics. Anterior cruciate ligament injuries: diagnosis, treatment, and prevention. *Pediatrics*, 2014, vol. 133, no. 5, pp. e1437-e1450. DOI: [10.1542/peds.2014-0623](https://doi.org/10.1542/peds.2014-0623).
17. Sigward S.M., Cesar G.M., Havens K.L. Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45 and 110 degrees in men and women: Implications for Anterior Cruciate Ligament injury. *Clin. J. Sport. Med.*, 2015, vol. 25, no. 6, pp. 529-534. DOI: [10.1097/JSM.0000000000000155](https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000155).
18. Geng B., Wang J., Ma J.L., Zhang B., Jiang J., Tan X.Y., Xia Y.Y. Narrow intercondylar notch and anterior cruciate ligament injury in female nonathletes with knee osteoarthritis aged 41-65 years in plateau region. *Chin. Med. J.*, 2016, vol. 129, no. 21, pp. 2540-2545. DOI: [10.4103/0366-6999.192771](https://doi.org/10.4103/0366-6999.192771).
19. Sturman D.R., Vacek P.M., DeSarno M.J., Gardner-Morse M.G., Tourville T.W., Slauterbeck J.R., Johnson R.J., Shultz S.J., Beynon B.D. Combined anatomic factors predicting risk of anterior cruciate ligament injury for males and females. *Am. J. Sports Med.*, 2015, vol. 43, no. 4, pp. 839-847. DOI: [10.1177/0363546514563277](https://doi.org/10.1177/0363546514563277).
20. Barber-Westin S.D., Noyes F.R. Risk factors for anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. In: Noyes F.R., editor. *Noyes' Knee Disorders: Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes*. Philadelphia, Saunders, 2009, pp. 359-378.
21. Shultz S.J. The effect of sex hormones on ligament structure, joint stability and ACL injury risk. In: Hackney A.C., ed. *Sex Hormones, Exercise and Women. Scientific and Clinical Aspects*. Cham, Springer, 2017, pp. 113-138. DOI: [10.1007/978-3-319-44558-8_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44558-8_7).
22. Wojtys E.M., Jannausch M.L., Kreinbrink J.L., Harlow S.D., Sowers M.R. Athletic activity and hormone concentrations in high school female athletes. *J. Athl. Train.*, 2015, vol. 50, no. 2, pp. 185-192. DOI: [10.4085/1062-6050-49.3.62](https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.62).
23. Sugimoto D., Myer G.D., Barber Foss K.D., Pepin M.J., Micheli L.J., Hewett T.E. Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. *Br. J. Sports Med.*, 2016, vol. 50, no. 20, pp. 1259-1266. DOI: [10.1136/bjsports-2015-095596](https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095596).
24. Hewett T.E., Ford K.R., Xu Y.Y., Khoury J., Myer G.D. Utilization of ACL injury biomechanical and neuromuscular risk profile analysis to determine the effectiveness of neuromuscular training. *Am. J. Sports Med.*, 2016, vol. 44, no. 12, pp. 3146-3151. DOI: [10.1177/0363546516656373](https://doi.org/10.1177/0363546516656373).
25. Roux E.C. *Evaluation of a Sport-Specific Performance Task Associated with a Lower Extremity Injury Prevention Program*. Master's Theses. University of Connecticut, 2015. Available at: https://opencommons.uconn.edu/gs_theses/774.
26. Read P.J., Oliver J.L., De Ste Croix M.B.A., Myer G.D., Lloyd R.S. A Review of Field-based Assessments of Neuromuscular Control and Their Utility in Male Youth Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.*, 2017. DOI: [10.1519/JSC.0000000000002069](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002069).
27. Paterno M.V., Rauh M.J., Schmitt L.C., Ford K.R., Hewett T.E. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am. J. Sports Med.*, 2014, vol. 42, no. 7, pp. 1567-1573. DOI: [10.1177/0363546514530088](https://doi.org/10.1177/0363546514530088).
28. Sugimoto D., Myer G.D., Foss K.D., Hewett T.E. Specific exercise effects of preventive neuromuscular training intervention on anterior cruciate ligament injury risk reduction in young females: meta-analysis and subgroup analysis. *Br. J. Sports Med.*, 2015, vol. 49, no. 5, pp. 282-289. DOI: [10.1136/bjsports-2014-093461](https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093461).
29. Swart E., Redler L., Fabricant P.D., Mandelbaum B.R., Ahmad C.S., Wang Y.C. Prevention and screening programs for anterior cruciate ligament injuries in young athletes: a cost-effectiveness analysis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2014, vol. 96, no. 9, pp. 705-711. DOI: [10.2106/JBJS.M.00560](https://doi.org/10.2106/JBJS.M.00560).
30. Keays S.L., Keays R.C., Newcombe P.A. What predisposes siblings to anterior cruciate ligament injury? Femoral notch width size in siblings with and without ACL injury. *Physiotherapy*, 2015, vol. 101, no. Suppl. 1, pp. e736-e737. DOI: [10.1016/j.physio.2015.03.3599](https://doi.org/10.1016/j.physio.2015.03.3599).
31. Westin M., Reels-Lundqvist S., Werner S. The correlation between anterior cruciate ligament injury in elite alpine skiers and their parents. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2016, vol. 24, no. 3, pp. 697-701. DOI: [10.1007/s00167-014-2974-9](https://doi.org/10.1007/s00167-014-2974-9).
32. O'Connell K., Knight H., Ficek K., Leonska-Duniec A., Maciejewska-Karlowska A., Sawczuk M., Stepień-Słodkowska M., O'Cuinneagain D., Van der Merwe W., Posthumus M., Cieszyński P., Collins M. Interactions between collagen gene variants and risk of anterior cruciate ligament rupture. *Eur. J. Sport Sci.*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 341-350. DOI: [10.1080/17461391.2014.936324](https://doi.org/10.1080/17461391.2014.936324).
33. Johnson J.S., Morscher M.A., Jones K.C., Moen S.M., Klonk C.J., Jacquet R., Landis W.J. Gene expression differences between ruptured anterior cruciate ligaments in young male and female subjects. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2015, vol. 97, no. 1, pp. 71-79. DOI: [10.2106/JBJS.N.00246](https://doi.org/10.2106/JBJS.N.00246).
34. Kaeding C.C., Pedroza A.D., Reinke E.K., Huston L.J.; MOON Consortium, Spindler K.P. Risk factors and predictors of subsequent ACL injury in either knee after ACL reconstruction: prospective analysis of 2488 primary ACL reconstructions from the MOON cohort. *Am. J. Sports Med.*, 2015, vol. 43, no. 7, pp. 1583-1590. DOI: [10.1177/0363546515578836](https://doi.org/10.1177/0363546515578836).
35. Wiggins A.J., Grandhi R.K., Schneider D.K., Stanfield D., Webster K.E., Myer G.D. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Sports Med.*, 2016, vol. 44, no. 7, pp. 1861-1876. DOI: [10.1177/0363546515621554](https://doi.org/10.1177/0363546515621554).
36. Weber A.E., Bach B.R., Bedi A. How Do We Eliminate Risk Factors for ACL Injury? In: Musahl V., Karlsson J., Kuroda R., Zaffagnini S., editors. *Rotatory Knee Instability: An Evidence Based Approach*. Cham, Springer, 2017, pp. 465-472. DOI: [10.1007/978-3-319-32070-0_39](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32070-0_39).
37. Swain M.S., Henschke N., Kamper S.J., Downie A.S., Koes B.W., Maher C.G. Accuracy of clinical tests in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Chiropr. Man. Therap.*, 2014, vol. 22, pp. 25. DOI: [10.1186/s12998-014-0025-8](https://doi.org/10.1186/s12998-014-0025-8).
38. Magnussen R.A., Reinke E.K., Huston L.J.; MOON Group, Hewett T.E., Spindler K.P. Factors associated with high-grade Lachman, pivot shift, and anterior drawer at the time of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 2016, vol. 32, no. 6, pp. 1080-1085. DOI: [10.1016/j.arthro.2015.11.018](https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.018).
39. Lange T., Freiberg A., Dröge P., Lütznert J., Schmitt J., Kopkow C. The reliability of physical examination tests for the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture – a systematic review. *Man. Ther.*, 2015, vol. 20, no. 3, pp. 402-411. DOI: [10.1016/j.math.2014.11.003](https://doi.org/10.1016/j.math.2014.11.003).
40. Seeber G.H., Wilhelm M.P., Windisch G., Appell Coriolano H.J., Matthijs O.C., Sizer P.S. Cadaveric evaluation of the lateral-anterior drawer test for examining posterior cruciate ligament integrity. *Int. J. Sports Phys. Therapy*, 2017, vol. 12, no. 4, pp. 569-580.
41. Nagai K., Hoshino Y., Nishizawa Y., Araki D., Matsushita T., Matsumoto T., Takayama K., Nagamune K., Kurosaka M., Kuroda R. Quantitative comparison of the pivot shift test results before and after anterior cruciate ligament reconstruction by using the three-dimensional electromagnetic measurement system. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2015, vol. 23, no. 10, pp. 2876-2881. DOI: [10.1007/s00167-015-3776-4](https://doi.org/10.1007/s00167-015-3776-4).
42. Nakamura K., Koga H., Sekiya I., Watanabe T., Mochizuki T., Horie M., Nakamura T., Otabe K., Muneta T. Evaluation of pivot shift phenomenon while awake and under anaesthesia by different manoeuvres using triaxial accelerometer. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2017, vol. 25, no. 8, pp. 2377-2383. DOI: [10.1007/s00167-015-3740-3](https://doi.org/10.1007/s00167-015-3740-3).
43. Brady M.P., Weiss W. Clinical Diagnostic Tests Versus MRI Diagnosis of ACL Tears. *J. Sport. Rehabil.*, 2018, pp. 1-5. DOI: [10.1123/jsr.2016-0188](https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0188).
44. Ochi M., Dejour D., Nakamae A., Ntigiopoulos P.G. Diagnosis of Partial ACL Rupture. In: Nakamura N., Zaffagnini S., Marx R.G., Musahl V., editors. *Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. An Evidence-Based Medicine Approach*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2017, pp. 301-311. DOI: [10.1007/978-3-662-52742-9_28](https://doi.org/10.1007/978-3-662-52742-9_28).

45. Gächter A. The various faces of anterior cruciate ligament tears during arthroscopic examination. In: Jacob R.P., Stäubli H.-U., editors. *The knee and the Cruciate Ligaments. Anatomy Biomechanics, Clinical Aspects, Reconstruction, Complications, Rehabilitation*. Berlin, Heidelberg, Springer, 1992, pp. 190-192. DOI: 10.1007/978-3-642-84463-8_16.
46. Jackson T., Ganley Th.J. Treatment of Concomitant Pathology During ACL Reconstruction. In: Parikh S., ed. *The Pediatric Anterior Cruciate Ligament*. Cham, Springer, 2018, pp. 169-181. DOI: 10.1007/978-3-319-64771-5_17.
47. Whelan D., Chowdhry M., Hantes M., Nakamura N., Yonetani Y. Treatment of MCL Injury in Combined ACL/MCL Injury. In: Nakamura N., Zaffagnini S., Marx R.G., Musahl V. *Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. An Evidence-Based Medicine Approach*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2017, pp. 371-387. DOI: 10.1007/978-3-662-52742-9_34.
48. Claes S., Luyckx T., Vereecke E., Bellemans J. The Segond fracture: a bony injury of the anterolateral ligament of the knee. *Arthroscopy*, 2014, vol. 30, no. 11, pp. 1475-1482. DOI: 10.1016/j.arthro.2014.05.039.
49. Xie X., Liu X., Chen Z., Yu Y., Peng S., Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*, 2015, vol. 22, no. 2, pp. 100-110. DOI: 10.1016/j.knee.2014.11.014.
50. Yanke A., Bell R., Lee A., Shewman E.F., Wang V., Bach B.R. Jr. Regional mechanical properties of human patellar tendon allografts. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2015, vol. 23, no. 4, pp. 961-967. DOI: 10.1007/s00167-015-2768-5.
51. Zhang Z., Gu B., Zhu W., Zhu L. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions: a prospective, randomized study with 2-year follow-up. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.*, 2014, vol. 24, no. 4, pp. 559-565. DOI: 10.1007/s00590-013-1221-2.
52. Irrgang J.J., Tashman S., Moore Ch., Musahl V., West R.V., Oostdyk A., Galvin B., Fu F.H. Comparison of Clinical Outcomes Following Anatomic Single vs. Double-Bundle ACL Reconstruction: A Randomized Clinical Trial. *Orthop. J. Sports Med.*, 2017, vol. 5, no. 7 suppl.6. DOI: 10.1177/2325967117S00248.
53. Irrázaval S., Watson J.H., Albers M., Guenther D., Fu F.H. Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. In: Musahl V., Karlsson J., Kuroda R., Zaffagnini S., eds. *Rotatory Knee Instability: An Evidence Based Approach*. Cham, Springer, 2017, pp. 365-377. DOI: 10.1007/978-3-319-32070-0_31.
54. Yasuda K., Kondo E., Kitamura N. Anatomic Double-Bundle Reconstruction Procedure. In: Ochi M., Shino K., Yasuda K., Kurosaka M., eds. *ACL Injury and Its Treatment*. Tokyo, Springer, 2016, pp. 303-317. DOI: 10.1007/978-4-431-55858-3_25.
55. Dhawan A., Gallo R.A., Lynch S.A. Anatomic tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 2016, vol. 24, no. 7, pp. 443-454. DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00465.
56. Robin B.N., Jani S.S., Marvil S.C., Reid J.B., Schillhammer C.K., Lubowitz J.H. Advantages and disadvantages of transtibial, anteromedial portal, and outside-in femoral tunnel drilling in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Arthroscopy*, 2015, vol. 31, no. 7, pp. 1412-1417. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.01.018.
57. Herickhoff P.K., Safran M.R., Yung P., Chan K.-M. Pros and Cons of Different ACL Graft Fixation Devices In: Nakamura N., Zaffagnini S., Marx R.G., Musahl V. *Controversies in the Technical Aspects of ACL Reconstruction. An Evidence-Based Medicine Approach*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2017, pp. 277-288. DOI: 10.1007/978-3-662-52742-9_26.
58. Barenus B., Ponzer S., Shalabi A., Bujak R., Norlén L., Eriksson K. Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial. *Am. J. Sports Med.*, 2014, vol. 42, no. 5, pp. 1049-1057. DOI: 10.1177/0363546514526139.
59. Thomeé R., Waldén M., Häggglund M. Return to sports after anterior cruciate ligament injury: neither surgery nor rehabilitation alone guarantees success – it is much more complicated. *Br. J. Sports Med.*, 2015, vol. 49, no. 22, pp. 1422. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094793.
60. DiFabio M., Slater L.V., Norte G., Goetschius J., Hart J.M., Hertel J. Relationships of Functional Tests Following ACL Reconstruction: Exploratory Factor Analyses of the Lower Extremity Assessment Protocol. *J. Sport. Rehabil.*, 2018, vol. 27, no. 2, pp. 144-150. DOI: 10.1123/jsr.2016-0126.

Рукопись поступила 23.05.2018

Сведения об авторах:

1. Анастасиева Евгения Андреевна,
ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л.Цивьяна» Минздрава России,
г. Новосибирск, Россия,
Email: evgeniya.anastasieva@gmail.com
2. Симагаев Роман Олегович,
Автономная некоммерческая организация «Клиника НИИТО»,
г. Новосибирск, Россия,
Email: simagaev@gmail.com
3. Кирилова Ирина Анатольевна, д. м. н.,
ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л.Цивьяна» Минздрава России,
г. Новосибирск, Россия

Information about the authors:

1. Evgeniya A. Anastasieva, M.D.,
Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and
Orthopedics, Novosibirsk, Russian Federation,
E-mail: evgeniya.anastasieva@gmail.com
2. Roman O. Simagaev, M.D.,
Autonomous Non-profit Organization NRITO Clinic, Novosibirsk,
Russian Federation,
E-mail: simagaev@gmail.com
3. Irina A. Kirilova, M.D., Ph.D.,
Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and
Orthopedics, Novosibirsk, Russian Federation