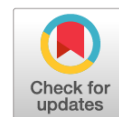


DOI: <https://doi.org/10.17816/vto51034>

# Повреждение передней крестообразной связки у детей и подростков. Современные тенденции и исследования

© Я.А. Иванов\*, А.Г. Ельцин, Д.С. Мининков

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва

В работе проведен анализ современной литературы с 2015 по 2020 г., посвященной проблеме диагностики и лечения пациентов детского возраста с повреждением передней крестообразной связки (ПКС) и переломами межмыщелкового возвышения. Поиск проведен в базах данных: Ggoogle Scholar, PubMed и электронной библиотеке eLibrary.ru. Анализ показал, что в связи с распространением среди детей увлечения профессиональными и экстремальными видами спорта (с ежедневными тренировками), а также несоблюдения техники безопасности на объектах активного отдыха, ежегодно фиксируется все большее количество травм, с наличием изолированного разрыва ПКС, который занимает более 1/4 от числа всех повреждений коленного сустава у детей. К факторам риска развития повреждения структур коленного сустава после травмы передней крестообразной связки относится несвоевременное оперативное лечение. Проанализированы варианты лечения пациентов с неполными разрывами связки. Рассмотрены хирургические методики лечения пациентов с активными зонами роста. Оперативные варианты лечения включают в себя внеэпифизарную фиксацию и фиксацию трансплантата, не задевающую зоны роста. Рассмотрены варианты рефиксации культи ПКС при ее свежем повреждении. Проанализированы перспективы возвращения прооперированных детей в спорт. Предиктивным фактором скорого возвращения в спорт был отмечен возраст. Пациенты младших групп быстрее возвращались к прежним нагрузкам. В работе затрагиваются вопросы проприоцептивной чувствительности, ее влияния на биомеханику и реиннервацию трансплантата. Подчеркнута важность реабилитационного лечения. На основании проведенного обзора следует отметить важность дальнейшего изучения проблемы и совершенствование уже используемых инструментов.

**Ключевые слова:** повреждение передней крестообразной связки; антеромедиальная нестабильность; открытые зоны роста; перелом межмыщелкового возвышения.

#### Как цитировать:

Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Повреждение передней крестообразной связки у детей и подростков. Современные тенденции и исследования // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2021. Т. 28, № 1. С. 89–107. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto51034>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto51034>

# Anterior cruciate ligament injuries in the prepubescent and adolescent. Modern trends and researches

© Yaroslav A. Ivanov, Aleksander G. Eltsin, Dmitry S. Mininkov

N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

The article represents a literature review of research on diagnostics and treatment of ACL tears and intercondylar eminence fractures in children and adolescence published between 2015 and 2020. We scrolled the following databases: Google scholar, Pubmed, and eLibrary. Today knee injury with isolated ACL tears in young patients is growing more frequent due to their enhanced participation in extreme sports and other organized leisure activities where the risk of injury perceives. The injury with isolated ACL tears represents 1/4 of all knee injuries. Apart from extreme activities there is another risk factor that causes ACL tears — late surgical involvement. Partial ACL tears and surgical techniques of skeletal immature patients (extraphyseal and all-ephyseal) were analysed in this study too. This work also includes the subject of re-fixation of fresh ACL rupture. Perspectives of return to sports of young athletes were also analysed. The most common predictive factor of returning to sports is a patient's age. Young children return to their usual physical activities more promptly. Questions of proprioceptive impact on bio-mechanics and graft re-innervation also raised. The problem of ACL tears in children and adolescent patient are relevant. It needs more researches and improvements of surgery techniques.

**Keywords:** anterior cruciate ligament tear; knee instability; open physes; intercondylar eminence fractures.

## To cite this article

Ivanov YaA, Eltsin AG, Mininkov DS. Modern concepts of treatment of complicated diaphyseal forearm fractures (literature review). *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(1):89–107. DOI: <https://doi.org/10.17816/10.17816/vto51034>

Коленный сустав из всех суставов организма наиболее подвержен травмам. Особое место среди травм коленного сустава занимает повреждение передней крестообразной связки (ПКС). Эта связка является главным стабилизатором коленного сустава. ПКС содержит до 50 % всех проприорецепторов связочного аппарата коленного сустава — первичного звена кинематической цепочки. Центробежные импульсы от проприорецепторов стимулируют адекватный мышечный ответ, обеспечивая механическую стабилизацию коленного сустава. При разрыве ПКС развивается нестабильность, нарушается опороспособность конечности и процесс ходьбы [1].

В течение последних 20 лет отмечается постоянный рост травм передней крестообразной связки среди детского населения. Он обусловлен тем, что все больше детей и подростков стали активно заниматься различными организованными видами спорта, включая экстремальные [2–5]. При обследовании травмированных молодых спортсменов с гемартрозом коленного сустава у 47 % детей предпубертального возраста и у 65 % подростков обнаруживается разрыв ПКС [6].

N.A. Veski и соавт. [7] проанализировали случаи повреждений ПКС у детей и подростков в возрасте 6–18 лет в период с 1993 по 2003 г. По их данным средний показатель частоты травм ПКС составил 121 на 100 000 населения в год. Ежегодный прирост равнялся в среднем 2,3 % в год. Авторы отмечают, что большинство детей, получивших травму, были учениками средней школы.

В работе B.C. Warner и соавт. [8] отмечается возрастание случаев повреждения ПКС и, соответственно, проведенных операций по ее реконструкции. В период с 2007 по 2011 г. в возрастных группах 10–14 лет число прецедентов увеличилось на 300, а в возрастной группе 15–19 лет — почти на 1000.

Механизмы повреждения ПКС включают прямой контакт [непосредственное воздействие внешних сил (удары)], не прямой контакт, когда внешняя сила воздействует на туловище, боковую или переднюю поверхность бедра. Однако наиболее часто повреждения ПКС (в 60–70 % случаев) происходят вследствие бесконтактного механизма. При изучении травм ПКС у детей и подростков с незрелым скелетом B.P. Voden и соавт. [9] установили, что в 71 % случаев повреждения ПКС возникали именно бесконтактно.

Эпидемиологические исследования выявили значительно более высокую частоту травм ПКС среди девочек в возрасте 6–16 лет, чем среди мальчиков того же возраста [10].

Не стоит забывать и про ассоциированную травму совместно с разрывом ПКС: повреждение медиального мениска, суставного хряща и медиальной боковой связки (так называемая «несчастливая триада»). J.T. Newton и соавт. [11] отметили, что повреждение вышеуказанных структур более характерно для детей до 14 лет, а у пациентов старшего возраста (от 20 до 45 лет) такой

зависимости не прослеживается и достоверно не выявлено какой-либо корреляции между повреждением наружного мениска и несвоевременно выполненной операцией по пластике ПКС. Однако фактором риска развития осложнений у лиц 20–45 лет может быть наличие ожирения и возврат к физическим нагрузкам до выполнения оперативного лечения. В связи с этим следует отметить важность раннего оперативного лечения детей с повреждением ПКС.

P. Vavken и соавт. [12] также исследовали данный вопрос: в работе описаны повреждения ПКС у 208 пациентов со средним возрастом  $15 \pm 2$  года. У 56 % наблюдалось хотя бы одно дополнительное к травме ПКС повреждение. 32 % имели повреждение медиального мениска, 35 % — латерального мениска, и 5 % пациентов — повреждение суставного хряща. Похожие результаты отмечают в своей работе A.J. Kryuch и соавт. [13]. К значимым предикторам травмы мениска и хряща автор относит увеличенный индекс массы тела (ИМТ) и время, прошедшее с момента травмы до проведения восстановительной операции (вероятность повреждения суставного хряща и медиального мениска на 10 % больше при увеличенном ИМТ, а каждый задержанный месяц операции увеличивает на 6 % риск вышеперечисленных травм).

## Факторы риска

T.E. Hewett и соавт. [14] отметили биомеханические различия между спортсменками, учащимися средней школы, получившими травмы ПКС, и теми, у кого травм не было. Выявленные биомеханические нарушения у спортсменок с травмой ПКС включали в себя нарушение объема движений и неправильную нагрузку на коленный сустав в период приземления после прыжка.

Позднее, S. Holden и соавт. [15] также оценили характер приземления у молодых спортсменов-подростков со средним возрастом 13 лет. Полученные результаты подтвердили, что спортсменки демонстрируют биомеханику приземления, приводящую к травме больше, чем их сверстники спортсмены.

Факторами риска повреждения ПКС у детей и подростков признаны: семейная предрасположенность, полиморфизм коллагена, женский пол и гормональное влияние, нейромышечные и нейро-когнитивные реакции, предшествующие травмы. На предрасположенность к травме ПКС влияют также анатомические особенности коленного сустава: уменьшение ширины межмышечковой выемки, увеличенный наклон большеберцовой кости, уменьшение отношения сухожилия надколенника к четырехглавой мышце.

Среди внешних факторов, провоцирующих повреждение ПКС, рассматриваются погодные условия, состояние игровой поверхности, обувь спортсмена [16, 17].

Существует мнение, что в период интенсивных темпов роста возрастает риск травматизма. Такие особенности детского и подросткового возрастов, как отставание

минерализации кости от ее линейного роста, местное снижение физической силы мышцы за счет ее натяжения, повышают вероятность травмы.

Вопрос возраста является неоднозначным в отношении травматизма [18]. Предположительно считалось, что риск травмы в спорте выше у подростков, в связи с нарастающей мышечной силой и массой. Однако связь между возрастом/уровнем спортсмена и травмами уходит больше в вид спорта.

Несколько неоднозначные выводы следуют из работы Н. Moksnes и соавт. [19], в которой также изучены пациенты после проведенного консервативного лечения. Сообщается, что у 28,5 % из них наблюдалось повреждение медиального мениска, а у 7,1 % — повреждение суставного хряща, что совпадает с данными прооперированной контрольной группой. Несмотря на отсутствие разницы в отношении повреждения мениска и суставного хряща, у 32 % все же была проведена операция по пластике ПКС в связи с наличием антеромедиальной нестабильности коленного сустава. Еще одна проблема таких исследований в том, что в большинстве из них не учитывался показатель костной зрелости пациентов, что может вызвать затруднения при выборе тактики лечения. Следует обратить внимание, что исследования такого плана лучше проводить в ключе рандомизированных, но препятствием для этого могут стать значительные объемы финансовых и клинических затрат [20]. Такие результаты свидетельствуют о необходимости оценки риска развития нестабильности при выборе варианта лечения.

## Магнитно-резонансная томографическая диагностика

Для диагностики характера повреждения ПКС в острых состояниях, особенно когда затруднено клиническое обследование, используют магнитно-резонансную томографию (МРТ), обладающую высокой чувствительностью и специфичностью. МРТ играет ключевую роль в постановке правильного диагноза и определения дальнейшей тактики лечения пациента [21, 22]. Данный метод исследования также может помочь при неоднозначном клиническом диагнозе и избежать ненужных хирургических вмешательств [23].

Мощность магнитного поля (Т) при МРТ-исследованиях — одна из тех переменных, которые могут играть решающую роль в обнаружении тех или иных повреждений коленного сустава. Стандартом диагностики считают использование аппаратов мощностью не ниже 1,5 Т. P. Van Dyck и соавт. [24] сравнивали результаты, полученные на аппаратах с мощностью 1,5 Т и 3 Т, у одних и тех же людей. В исследовании принимало участие 200 человек. В результате авторы не нашли существенной разницы между аппаратами в отношении результатов диагностики различных повреждений ПКС и менисков.

J. van der List и соавт. [25] изучили особенности локализации разрывов ПКС у 274 детей и подростков в возрасте 6,9–18,0 лет. В группе травмированных девочки составили 59 %. Авторы использовали следующую градацию типов повреждения ПКС, выявленных при МРТ:

I тип — культя с отрывом от бедренной кости. 15 % общего числа травмированных;

II тип — проксимальный разрыв. 23 % общего числа травмированных;

III тип — средний разрыв. 52 % общего числа травмированных.

IV тип — дистальный разрыв. 1 % общего числа травмированных;

V тип — культя с отрывом от большеберцовой кости. 8 % общего числа травмированных.

J. van der List и соавт. [25] отметили, что в зависимости от возраста пострадавших менялась локализация травмы ПКС. Так, в группе детей 6–10 лет 93 % повреждений были V типа. Среди детей 11–13 лет по 32 % травм были I и III типов и по 16 % — тип II и V. Среди подростков (14–17 лет) преобладали травмы (67 %) III типа, 25 % травм были отнесены ко II типу и 14 % — к I типу [25].

У пациентов с открытыми зонами роста МРТ используют для предоперационного планирования в целях безопасной реконструкции разрывов ПКС. V.G. Swami и др. провели МРТ-анализ, оценивающий высоту эпифиза большеберцовой кости, а также ширину латерального мыщелка бедренной кости. Это исследование показало, что высота эпифиза большеберцовой кости в среднем составляла 15,9 мм и существенно не изменялась в возрасте от 10 до 14 лет. Эти значения могут быть полезны при планировании размещения туннеля во избежание последующего нарушения роста [26].

## Консервативное лечение

До настоящего времени нет единого мнения относительно характера лечения повреждений ПКС у детей с незрелым скелетом: консервативное, консервативное с отсроченной реконструкцией ПКС или ранняя реконструкция ПКС. Все исследователи согласны, что главной задачей при выборе метода лечения ПКС у детей с незрелым скелетом становится безопасность вмешательства для обеспечения долгосрочного функционального результата, снижения риска осложнений и сохранения зоны роста. При консервативном лечении сохраняется риск развития нестабильности, повреждения мениска и хряща, при оперативном лечении — риск повреждения зоны роста.

Согласно имеющимся данным, неоперативное лечение может быть предложено педиатрическим пациентам до 14 лет с частичными разрывами ПКС, пациентам с отрицательным Lachman-тестом и с разрывом менее 50 % волокон. Детям более старшей возрастной группы и с большим объемом поражения рекомендуют пластику связки [27].

В 1983 г. F.R. Noyes и соавт. [28] сформулировали правило 1/3 для прогноза результативности неоперативного лечения при травмах ПКС. По мнению авторов, 1/3 травмированных возвращается к прежним нагрузкам без оперативного лечения, другая 1/3 пострадавших вынуждена будет снизить уровень активности, чтобы избежать пластики связки, и последнюю 1/3 составляют травмированные, кому пластика ПКС необходима. [28].

В настоящее время неоперативное лечение состоит из специальной программы физиотерапии коленного сустава, обязательных программ, направленных на проприоцептивную/нервно-мышечную тренировку (комплекс упражнений для развития равновесия, координации движений, двигательной чувствительности и пр.). Кроме того, лечение должно включать систематическое клиническое наблюдение с целью выявления любой повторяющейся нестабильности или признаков повреждения мениска и хряща, что является одной из основных проблем консервативного лечения.

L. Kostogiannis и соавт. [29] провели проспективное исследование оценки функции коленного сустава и уровня активности у 67 пациентов через 15 лет после травмы ПКС. Для оценки функции коленного сустава использовали Lachman-тест. Средние значения показателя через 1 и 3 года наблюдения составили 96 и 95 соответственно. К 15-му году наблюдения показатель был равен 86. По шкале Tenger Activity Score определяли уровень активности. До момента травмы средний уровень активности находился в районе 7 баллов. В течение периода наблюдения уровень активности стабильно снижался, несмотря на незначительное повышение у 8 пациентов к 3-му году наблюдения, и к 15-му году наблюдения был минимальным. Авторы связывают снижение активности с нарушением стратегии лечения, а именно с рекомендацией избегать контактных видов спорта, а также с психологическими состояниями пациентов.

В 2013 г. H. Moksnes и соавт. [30] сообщили об изменениях в функциональном состоянии и активности коленного сустава в результате неоперативного лечения разрывов ПКС. Под наблюдением находилось 46 детей в возрасте до 12 лет. Занятия физическими упражнениями контролировали с помощью online-опроса. Через 2 года наблюдения у 36 детей были оценены функциональное состояние коленных суставов и уровень активности (изокинетическая мышечная сила, тесты на прыжки на одной ноге). Проведенная оценка была идентичной для обоих коленных суставов в 90 % случаев. В то же время 38 % детей с дефицитом ПКС изменили спортивный уровень с 1-го на 2-й. Авторы сделали вывод, что неоперативный подход при травме ПКС у детей с незрелым скелетом может быть использован, но некоторым из них потребуется снижение уровня спортивной активности.

G.R. Ekas и соавт. [31] представили функциональные исходы у 44 пациентов, перенесших травму ПКС

в возрасте до 13 лет и получивших либо только консервативное лечение с активной реабилитацией, либо консервативное лечение и отсроченную реконструкцию связки. В течение 8 лет наблюдения 24 пациентам (55 %) была выполнена реконструкция ПКС и 16 больным (36 %) — операция на мениске. Симметрия силы четырехглавой мышцы >90 % была выявлена у 30 пациентов (68 %). Средние показатели симметрии силы ног (прыжки и силовые тесты) составили >90 %, за исключением теста на один прыжок и мышечной силы hamstring у пациентов, перенесших реконструкцию связки. 90 % больных сохранили спортивную активность, при этом 66 % ограничили уровень активности. Авторы сделали вывод, что активная реабилитация может сыграть положительную роль в лечении детей с разрывом ПКС: около 50 % травмированных могут обойтись без хирургического вмешательства. В то же время почти у 50 % больных может развиваться нестабильность, а треть могут нуждаться в операции на мениске.

В дальнейшем через 9,5 лет после травмы ПКС была проведена оценка частоты возникновения новых повреждений менисков и хрящевой ткани у 47 пациентов, получивших активную реабилитацию без первоначальной реконструкции (43 человека) и первоначально выполненную реконструкцию связки (4 человека). На момент осмотра реконструкция ПКС была проведена 27 пациентам (57 %). При последней МРТ (3 Т) выявлено, что 14 человек (30 %) имели разрывы менисков, 13 (28 %) — повреждения хрящевой ткани. Изменения на противоположной стороне выявлены у 8 больных, из них повреждения мениска у 2, изменения хряща — у 5, и у 1 больного — субхондральный перелом. У 2 пациентов выявлена разница в длине ног >15 мм, у 2 — разница в положении коленного сустава, составляющая >5°. Был сделан вывод, что активная реабилитация и отсроченная реконструкция, если необходимо, могут быть оправданным и безопасным вариантом лечения детей с травмами ПКС. Однако у активных детей консервативное лечение может привести к вторичным повреждениям мениска, хряща и дегенеративным изменениям.

С целью анализа эффективности консервативного лечения разрыва ПКС и определения прогностических факторов реконструкции связки A. Madeline и соавт. [32] выполнили проспективное наблюдение за 53 детьми с разрывами ПКС в течение 31,5 мес. (22,3–49,3 мес.). На момент осмотра средний возраст детей, получивших травму ПКС, составил 14,4 года (12,6–15,5 года). Результаты исследования показали, что шкала спортивной активности (Tenger Activity Score) осталась прежней. В то же время 19 обследуемых детей (36 %) при последнем осмотре испытывали нестабильность коленного сустава. МРТ выявила у 9 человек (17%) разрыв мениска, из которых одному была проведена менискэктомия. 21 пациенту (40%) была выполнена реконструкция связки. Авторы заключили, что консервативное лечение, проводимое

в течение 4 лет, было успешным. Противопоказанием к консервативному лечению, по мнению авторов, является нестабильность, выявляемая при первичном осмотре. В этом случае должен обсуждаться вопрос о ранней реконструкции ПКС.

### Консервативное или оперативное лечение

Выбор метода лечения полного разрыва ПКС у скелетно незрелого пациента сохраняет свою актуальность до настоящего времени. Анализ публикаций по восстановлению ПКС у детей в период с 1970 по 2018 г., проведенный А. Dingel и соавт. [33], показал, что в большинстве статей, посвященных консервативному лечению травмы ПКС, отмечают вторичные повреждения хряща и мениска. В то же время сделан вывод, что неоперативное лечение пациентов с разрывом ПКС может быть приемлемым при низкой физической активности пострадавшего.

D.E. Ramski и соавт. [34] выполнили метаанализ сравнения исходов между 217 пациентами с разрывом ПКС, часть из которых лечилась консервативно, а другим пациентам была выполнена реконструкция ПКС. Вторую группу составили 353 пациента с разрывом ПКС после ранней и отсроченной реконструкции связки. Результаты сравнения показали, что при консервативном лечении разрыва связки 75 % пациентов испытывали нестабильность, а после оперативного лечения — 13,6 %. После консервативного лечения разрывы мениска были зарегистрированы в 9,1 раза чаще (35,4 против 3,9 %). Ни один пациент с разрывом ПКС, получивший консервативное лечение, не вернулся к прежнему уровню спортивной активности. Среди прооперированных пациентов в спорт вернулось 85,7 %. Авторы отдают предпочтение ранней хирургической стабилизации по сравнению с неоперативным лечением или отсроченной реконструкцией при разрывах ПКС. Метаанализ выявил несколько тенденций, которые отдают предпочтение ранней хирургической стабилизации по сравнению с неоперативным или отсроченным лечением. Пациенты после неоперативного и отсроченного лечения испытали бóльшую нестабильность, патологическую слабость и неспособность вернуться к предыдущим уровням активности, чем пациенты, получавшие раннюю хирургическую стабилизацию.

Позднее подобное исследование было выполнено K.L. Dunn и соавт. [35]. После изучения базы данных и рефератов американских и европейских обществ травматологов-ортопедов они пришли к аналогичным выводам. Полученные результаты свидетельствовали, что ранняя реконструкция разрывов по сравнению с консервативным лечением и отсроченной реконструкцией ПКС приводит к меньшей нестабильности и более вероятному возвращению к прежнему уровню активности, не затрагивает зоны роста и не вызывает нарушение роста [35].

### Оперативное лечение

Поскольку неоперативное лечение полного разрыва ПКС у детей и подростков достаточно часто осложняется нестабильностью, повреждениями менисков и хрящевой ткани, то сторонников ранней реконструкции ПКС становится все больше. Основное требование при выборе метода реконструкции разрывов ПКС у детей и подростков — метод должен быть физиологически соответствующим и физиологически щадящим. Скелетный возраст является важным фактором, определяющим, какой метод использовать для реконструкции ПКС у молодых пациентов. Поэтому предоперационная оценка включает обязательную оценку костного возраста.

P.J. Lang и соавт. [36] приводят алгоритм лечения полного разрыва ПКС у детей и подростков в соответствии с возрастом травмированных:

1. Препубертатный возраст: девочки до 11 лет, мальчики до 12 лет, по шкале Таннера (Tanner scale) 1 или 2. Реконструкция ПКС, не задевающая зон роста (all-epiphyseal).
2. Подростки с сохранением ростковой зоны: девочки 12–14 лет, мальчики 13–16 лет, Tanner 2–3. Physeal-соответствующая реконструкция (в зависимости от стадии активного роста пациента) ПКС мягкотканым трансплантатом, метафизарная фиксация.
3. Подростки с закрытыми или почти закрытыми зонами роста: девочки старше 14 лет, мальчики старше 16 лет, Tanner 4–5. Реконструкция ПКС как у взрослых.

При изучении отечественной литературы по вопросу оперативного лечения травм передней крестообразной связки у детей однозначных показаний не выделено. Р.Ш. Садыков и соавт. [37] провели анализ отдаленных результатов по исходам пластики ПКС у детей с открытыми зонами роста, резекции и сшиванию менисков. Артроскопическая операция проведена 68 пациентам. Из них на долю повреждения ПКС пришлось 37 человек. Помимо классической методики реконструкции ПКС с применением ауто трансплантата, также использовался синтетический трансплантат, который впоследствии был расценен как нежелательный, ввиду наличия «эффекта стеклоочистителя». В заключении статьи сделан вывод, что выполнение оперативного лечения по пластике ПКС у детей с функционирующими зонами роста нежелательно и операцию следует выполнять после их закрытия.

Однако А.И. Брянская и соавт. [38] в своей работе подчеркивают важность ранней стабилизации коленного сустава, несмотря на трудоемкость операции в связи с размерами стандартного инструментария при пластике ПКС и близости расположения зон роста.

Существует три распространенных метода реконструкции ПКС при открытых зонах роста: all-epiphyseal с использованием трансплантата мягких тканей, комбинированная внесуставная и внутрисуставная

реконструкция с использованием подвздошно-большеберцового трансплантата.

### Техника All-Inside

Техника All-Inside (все внутри) широко применяется для хирургического лечения нестабильности коленного сустава у пациентов с незакрытыми зонами роста (моложе 18–20 лет). Применение данной методики позволяет обойти ростковые зоны и избежать их повреждения. Таким образом, полностью исключается риск серьезных осложнений, связанных с нарушением зон роста. В литературе она описана достаточно полно [39, 40]. Одним из первых эту технику описывают А.Ф. Anderson и соавт. [41]. Бедренные и большеберцовые тоннели просверливают с осторожностью во избежание повреждения ростковой зоны.

Проведен анализ данных у пациентов после all-epiphyseal реконструкции (АЕ) и extraphyseal реконструкции ПКС и оценка результатов восстановления связки у скелетно-незрелых больных. Обследовано 443 пациента. После all-epiphyseal реконструкции выявлен меньший процент возвращения в спорт, большая разница в длине конечностей и больший процент разрыва ПКС [42].

При оценке результатов all-inside и all-epiphyseal реконструкции ПКС у детей с продолжающимся в течение 3–6 лет ростом скелета (средний возраст 23 пациентов был равен 11,3 года) через 2 года после операции не выявлено значительных нарушений роста. У 6 больных разница в длине ног составила 5 мм. По опроснику IKDC балл был равен 94,6, Lisholm-тест — 97,8, тесты Lachman и Pivot-shift были отрицательными. Возвращение к спортивной активности наступило в среднем через 19,5 мес. [43]. Сравнительный анализ ближайших результатов реконструкции ПКС у детей подросткового возраста с использованием различных методик был представлен М.Р. Салаховым и В.В. Авраменко [44]. Изолированная пластика ПКС с формированием бедренного канала с использованием транстибиальной методики была выполнена 32 больным. У 30 пациентов была применена изолированная пластика ПКС с формированием бедренного канала через дополнительный переднемедиальный артроскопический доступ. Реконструкция ПКС по методике All-Inside выполнена 32 пациентам. Оценка результатов реконструкции ПКС через год после операции показала, что показатели по опроснику IKDC 2000 и тесту Lisholm переднезадней и ротационной стабильности коленного сустава были лучше у пациентов 3-й группы.

Совершенствование техники реконструкции передней крестообразной связки (ПКС) продолжается по следующим направлениям: уменьшение хирургической травмы, улучшение анатомического положения трансплантата, повышение прочности его прикрепления, стимуляция регенерации мест прикрепления, модификация послеоперационной реабилитации. Техника «все внутри» отвечает большинству требований. Период выздоровления

пациента после реконструкции ПКС в значительной степени связан со скоростью интеграции трансплантата в окружающие ткани.

Тем не менее методики безопасной и эффективной техники реконструкции поврежденной ПКС у пострадавших с незавершенным ростом продолжают развиваться.

### Комбинированная техника

Учитывая постоянный рост числа травм ПКС и выполненных реконструктивных операций, единого мнения относительно оптимальной техники реконструкции ПКС у детей с сохранением оставшегося роста  $\geq 2$  лет не достигнуто. Изучение линейных и угловых нарушений конечностей, оценка состояния трансплантата и функциональные результаты лечения у подростков после частичной трансфизарной реконструкции ПКС проведено С.С. Chambers и соавт. [45]. Методика включала в себя проведение костного тоннеля в бедренной кости, не проходя через зону роста, а большеберцовый тоннель проходил через нее. Реконструкция ПКС была выполнена 24 пациентам, средний возраст  $12 \pm 0,9$  года. Мальчики составили 79,2 %. Срок наблюдения —  $31 \pm 17,1$  года. В общем нарушение роста отмечено в 16,7 % (у 4 из 24 пациентов), но для детей с запасом роста 5 лет частота нарушения роста составила 66,7 % (у 2 из 3). Ревизия ПКС проведена 2 больным. Pedi-IKDC равнялся  $94,8 \pm 5,3$ . Авторы сделали вывод, что данная техника обеспечивает хороший функциональный результат и сравнима с thransthyseal и all-epiphyseal техниками реконструкции, но рекомендована пациентам, имеющим запас роста  $\leq 5$  лет.

Оценку изменений у детей с незавершенным ростом (18 мес.) после реконструкции ПКС по той же технике формирования тоннелей в бедренной кости провели S. Mathew и соавт. [46]. Всего в исследовании было 12 пациентов со средним возрастом 13,4 года (от 12,3 до 14,4). За период наблюдений (средний 2,27 года) не было различий в длине конечностей и отсутствовали образования угловых деформаций.

### Техника Over the top

Внесуставная и внутрисуставная реконструкция ПКС с использованием подвздошно-большеберцового трансплантата одной из первых упомянута в работах L.J. Micheli и соавт. [47] и M.S. Kocher и соавт. [48]. Это неанатомичные реконструкции, которые не требуют бурения туннелей.

S.C. Willimon с соавт. [49] оценили результаты лечения 21 пациента, получивших лечение по этой методике с минимальным сроком наблюдения 3 года. В целом были получены отличные результаты с высокими оценками: IKDC — 97, Lysholm — 95 баллов. Не было выявлено никакой разницы в длине ног. По мнению авторов, этот метод, учитывая его безопасность и эффективность, является физиологически щадящей реконструкцией ПКС

и предпочтительным для реконструкции у детей с незрелым скелетом.

Оценен клинический результат лечения 225 детей (240 коленных суставов) препубертатного возраста (Тапнер 1–2), которым была проведена комбинированная внутри- и внесуставная реконструкция ПКС с подвздошно-большеберцовым трансплантатом M.S. Kocher и соавт. [50]. Средний период наблюдения составил 25,8 мес. Результаты обследования показали, что в 96,8 % случаев Lachman-тест был отрицательный. Разрыв трансплантата наблюдался в 6,6 % случаев (9 детей). Средний балл по шкале активности Tegner равнялся 7,8. В 48,8 % случаев была отмечена боковая асимметрия бедра (в месте забора трансплантата). Разницы в длине конечностей и угловой деформации выявлено не было. Таким образом, по мнению авторов, эта операция показала отличные функциональные результаты, минимальный риск нарушения роста и низкую частоту разрывов трансплантата у детей с незрелым скелетом в препубертатном возрасте.

R.M. Lanzetti и соавт. [51] представили отдаленные результаты реконструкции ПКС техникой Over the top, выполненной 42 пациентам (30 мальчиков и 12 девочек) с незрелым скелетом. Операции были выполнены одним хирургом. Средний возраст детей 12,5 года (11–14 лет). Срок наблюдения составил 96 мес. у 22 пациентов. Ни нестабильности коленного сустава, ни различия в длине ног зарегистрировано не было. Средние значения по опроснику IKDC и тесту Tegner-Lisholm равнялись 94,8 и 94,78 балла соответственно. Реабилитационный период составил 7,3 мес. Все прооперированные больные вернулись к прежнему уровню спортивной активности.

### Transepiphyseal-техника

Первое описание техники сделано A.F. Anderson и соавт. в 2003 г. [52].

Было проведено множество ретроспективных исследований по оценке данной техники реконструкции ПКС. В период с 2000 по 2007 г. S. Kumar и соав. [53] выполнили 84 пластики ПКС у детей с открытыми зонами роста. Диаметр туннелей не превышал 9 мм. С целью минимизации повреждений ростковой зоны высверливание туннелей проводилось очень медленно. Трансплантат в бедренной части фиксировали пуговицей в тиббиальной части — с помощью винта. Авторы отметили лишь 1 случай вальгусной деформации коленного сустава.

R. Calvo и соав. [54] сообщили о результатах лечения 27 пациентов с незрелым скелетом, которым выполнялась реконструкция ПКС с вертикально ориентированными туннелями и ауто трансплантатом semitendinosus-gracilis. Срок наблюдения составил 10 лет. В течение длительного времени результаты поддерживались со средним баллом по Lysholm 92 и по IKDC 94. Всего было зафиксировано четыре (14,8 %) разрыва трансплантата. Из этих четырех случаев 3 (11,1 %) были

связаны с травматическими разрывами трансплантата при занятиях контактными видами спорта, а 1 (3,7 %) был выявлен артроскопически после прогрессирующей нестабильности. В дальнейшем была проведена оценка результатов еще в семи группах с количеством от 15 до 30 пациентов. Средние баллы по Lysholm и IKDC для всех этих серий были >90 [54].

A.I. Cruz и соавт. [55] провели ретроспективную оценку результатов реконструкции ПКС у 103 детей в возрасте 6,3–15,7 года. При среднем наблюдении в течение 21 мес. частота осложнений составила 16,5 %, в том числе 11 повторных разрывов (10,7 %) и 1 случай (<1,0 %) клинического несоответствия длины ноги. Никакой связи в возникновении осложнений с полом, возрастом, индексом массы тела, типом и толщиной трансплантата выявлено не было. Сгибание коленного сустава в период от 6 нед. до 6 мес. улучшалось в среднем на 20°. Однако в этой серии не сообщалось о функциональных показателях коленного сустава после его реконструкции.

### Лечение свежих разрывов передней крестообразной связки

С развитием новых медицинских технологий и медицинского оборудования предлагаются новые методики восстановления ПКС у детей, включая свежие разрывы связки.

В работе et al J.O. Smith и соавт. [56] приведены результаты лечения 3 пациентов (6–7 лет), которым была выполнена фиксация культи разорванной связки при помощи подвешивающей системы. У всех пациентов на момент осмотра была выраженная антеромедиальная нестабильность и положительный Pivot-shift-тест. При повторной артроскопии не было выявлено повреждений хряща и менисков. ПКС была стабильна, держалась в месте прикрепления и сохраняла тонус, также отсутствовали признаки импиджмента. После удаления фиксирующих структур пациенты возвращались к прежней активности спустя 4 мес. Ограничения движений в коленном суставе не наблюдалось. По данным двухлетнего наблюдения нарушения роста прооперированной конечности отмечено не было. Данная техника описана в работе J.H. Lubowitz и соавт. [57] при восстановлении медиальной коллатеральной связки.

J. Dabis и соавт. [58] выполнили артроскопическое восстановление полного разрыва ПКС, усиленное временным внутренним «брейсом» у 20 детей в возрасте до 16 лет. Фиксирующее устройство было удалено через 3 мес. Через 2 года после восстановления ПКС показатели по тестам Lisholm и Tegner — 95 и 7 соответственно.

Так называемая техника BEAR (bridge-enhanced ACL repair), подробно описанная в статье A.M. Kiapour и соавт. [59], дополняет вышеописанный метод современными клеточными технологиями. В исследовании пациенты



в возрасте от 18 до 35 лет с полным разрывом передней крестообразной связки были разделены на 2 группы. В первой группе выполнена стандартная пластика ПКС, в то время как для второй группы методикой выбора была выбрана BEAR. Выполнение данной хирургической операции проходит в несколько этапов, ее принцип сводится к ушиванию разорванной крестообразной связки, установке каркаса внеклеточного матрикса между культей и местом прикрепления связки с последующим введением плазмы, обогащенной тромбоцитами (PRP). После двухлетнего наблюдения за пациентами были выполнены МРТ-исследования, по результатам которых сравнивались поперечные срезы восстановленных связок и трансплантатов со здоровыми ПКС с контрлатеральных конечностей. Связки, восстановленные по технологии BEAR к 24 мес. с момента операции, имели схожую толщину с контрольной связкой.

Описанные выше техники заслуживают более подробного изучения и обширного применения в практике как у взрослых групп населения, так и у групп детского возраста. Перспектива восстановления свежего разрыва ПКС у детей вышеописанным методом довольно привлекательна в силу малотравматичности и укорочения восстановительного периода вследствие анаболического воздействия введенной PRP на скорость регенерации тканей.

Проведено сравнение различных методов реконструкции разрывов ПКС у пациентов с незрелым скелетом. Анализ разрывов в период с 1985 по 2016 г. Проанализировано 45 исследований: 1321 пациент, 1392 коленных сустава. Средний возраст пациентов — 13 лет. Мальчики составили 67 %. Средний срок наблюдения — 49,6 мес. Повторные разрывы составили 8,7 %. Нарушение роста отмечено у 58 пациентов. Угловая деформация развилась у 18, у 37 детей зафиксирована разница в длине конечностей. В заключение авторы отмечают, что нарушение роста может быть при любой технике реконструкции ПКС. Более важным, по мнению авторов, является хирургическая техника, а не тип реконструкции. Авторы считают, что большее внимание должно быть уделено нарушению роста и предупреждению повторного разрыва связки [60].

### **Аномалии зон роста, связанные с пластикой передней крестообразной связки**

M.J. Collins и соавт. [61] проводили обзор литературы по тематикам, связанным с повреждением ростковых зон. Было проанализировано 21 исследование с 1986 по 2015 г. Всего насчитывалось 313 пациентов. По результатам в общей сложности у 39 человек были выявлены аномалии зон роста (13 % от общего числа). Из них у 29 наблюдалась разница в длине нижних конечностей, а у 16 — угловая деформация (6 случаев включали в себя обе аномалии). Средний возраст пациентов

составил 12–13 лет, 89 % из них — лица мужского пола. Наиболее используемым трансплантатом служили сухожия ST и G (58 %), сухожилие четырехглавой мышцы (13 %), сухожилие собственной связки надколенника ВТВ (bone-tendon-bone, кость-связка-кость) (13 %). Самой используемой хирургической методикой на бедре была transepiphyseal (через зоны роста) — 54 %, extrapiphyseal (over the top) составила 18 % и all-inside (all-epiphyseal) — 15 %. На большеберцовой кости: transepiphyseal (через зоны роста) — 77 %, extrapiphyseal — 19 % и all-inside (all-epiphyseal) — 10 %. Фиксация трансплантата в бедре при помощи подвешивающей системы проводилась в 52 % случаев, при помощи винта на большеберцовой кости — в 55 % случаев.

Стоит отметить, что в 18 случаях (62 %) к нарушению разницы длины ног привело увеличение длины прооперированной конечности. Данный феномен наблюдается и при переломах дистального конца бедренной кости, что связано с повышенной васкуляризацией и митотической активностью зоны роста после средне-диафизарных переломах. В проведенном анализе проявление данного феномена не зависит от хирургической техники. Из 18 случаев увеличения длины прооперированной конечности 9 (50 %) составили техники, не задевающие зон роста, 8 (44%) — классические методики (в одном случае не была указана техника).

Укорочение конечности было зарегистрировано в 11 из 29 случаев (38 %) вследствие неправильной установки костного блока или фиксатора через ростковую зону, из-за чего и возникало блокирование последней.

Угловая деформация после пластики ПКС у детей с открытыми зонами роста была отмечена в 16 случаях (количество случаев варусной деформации коленного сустава преобладало). Техники, не задевающие зон роста, в равной степени с классическими методиками влияли на деформацию. Со стороны бедренной кости зарегистрировано 8 случаев повреждения зон роста и 4 — со стороны большеберцовой кости, в оставшихся 4 случаях локализация деформации неизвестна. Все 4 случая деформации со стороны большеберцовой кости приходились на transphyseal-технику. Однако из 8 случаев со стороны бедренной кости 3 приходились на all-epiphyseal-технику.

В заключении своей работы автор делает акцент, что несмотря на большой объем исследования, многие клинические наблюдения не были включены в него, в силу отсутствия документальных данных. Это создает пробелы в понимании этиологии и факторов риска развития описанных деформаций. Не было указано также на клиническую значимость (удовлетворенность пациента операцией, качество жизни) тех или иных деформаций после пластики ПКС, что может иметь решающее значение при выборе техники операции. В связи с большой разрозненностью полученных данных, невозможно провести статистический

анализ для выявления факторов риска и причинно-следственных связей.

Важность проблемы закрытия ростковых зон после пластики ПКС у детей и подростков также подчеркивают G.D. Shifflett и соавт. [62] в описании 4 случаев. По результатам работы только 1 пациент не имел осложнений, в то время как 3 другим детям потребовалась дополнительная операция.

Перечисленные выводы дают почву для будущих исследований, которые помогут в понимании описанных процессов.

### Повреждение ростковой зоны

Е.А. Makela и соавт. [63] в своей исследовательской работе на 44 кроликах травмировали зоны роста. При помощи дрели высверливались отверстия диаметром 2 и 3,2 мм. В первом случае просверленное отверстие в диаметре составляло 13 % от диаметра зоны роста. Во втором 20 %. По итогам исследования сделан вывод, что при разрушении зоны роста в размере 13 % не наблюдалось значительных нарушений в росте кости. Однако при разрушении зоны роста в размере 20 % общей площади наблюдалось значительное укорочение конечности. Данное исследование не проводилось на людях и, вероятно, не учитывался факт сверления отверстия под углом при пластике ПКС, что также увеличивает процент повреждения зоны роста [64].

W.J. Yoo и соавт. [65] ретроспективно изучили МРТ-снимки 43 пациентов с выполненной transphyseal-пластикой ПКС с использованием мягкотканного трансплантата. Средний возраст составил 14,8 года. Среднее время наблюдения 16 мес. Среднее соотношение площади поперечного сечения костного туннеля и зоны роста составило 2,6 % (диапазон 1,7–3,6 %) в проксимальном отделе большеберцовой кости и 2,3 % (диапазон 1,6–3,4 %) в дистальном отделе бедренной кости. Предоперационные МРТ-исследования не выявили очаговых аномалий зон роста. На контрольных МРТ-изображениях bone bridge (место просверливания туннеля через зону роста, в которой произошло ее травмирование и как следствие локальное закрытие) наблюдался у 5 пациентов (5 из 43, 11,6 %; 4 на уровне большеберцовой кости и 1 на уровне бедренной кости). Клинических нарушений роста не было выявлено. Периодическую боль в коленном суставе отмечали 5 пациентов, 4 — незначительное ограничение движений в суставе ( $<10^\circ$ ). К прежнему уровню физической активности вернулся 41 пациент.

### Переломы межмышцелкового возвышения

Доля переломов межмышцелкового возвышения при повреждениях коленного сустава составляет 7 % общего числа травм коленного сустава у детей и подростков [66, 67]. Обычно такие переломы встречаются у детей младшего школьного возраста и подросткового периода

[68]. Стандартно для I и II типов переломов по классификации Meyers–McKeever [69] применяется гипсовая иммобилизация в течении 4 недель. Артроскопическая же фиксация в настоящее время стала золотым стандартом в лечении переломов III–IV типов. В работе M.L. Molander и соавт. [70] описано наблюдение за 35 пациентами с диагностированным переломом межмышцелкового возвышения (28 детей и 7 взрослых). Использовалась классификация Meyers–McKeever. По результатам исследования 14 пациентам из 17 с III типом перелома проводилось консервативное лечение. После длительного наблюдения, в отдельных случаях до 22 лет, у 5 человек отмечались жалобы на дискомфорт в коленном суставе после интенсивных физических нагрузок. Описанные данные в очередной раз подтверждают обоснованность принятия решения в пользу оперативного лечения при III и IV типах переломов межмышцелкового возвышения. Следует отметить, что существует большое количество вариантов фиксации отломка: канюлированные винты [71], якорные фиксаторы [72], резорбируемые винты [73], металлическая проволока [68, 73] и т.д. Из всех методик отдельного внимания заслуживает остеосинтез межмышцелкового возвышения проволоочной петлей под контролем артроскопа в силу своей атравматичности и простоты исполнения. В работе В.Н. Меркулова и соавт. [68] за период с 2000 по 2012 г. указанным методом было пролечено 54 человека с переломами межмышцелкового возвышения в возрасте от 5 до 18 лет. По результатам работы у 81,1 % результаты были отличные, у 12,1 % — хорошие, и только у 6,8 % — удовлетворительные. Срок наблюдения составил в среднем 1 год. Все пациенты вернулись к прежнему уровню активности.

### Нарушение проприоцептивной чувствительности при повреждении передней крестообразной связки

В обеспечении нормальной кинематики коленного сустава огромную роль играет проприоцептивная чувствительность. Данная тема всегда привлекала внимание исследователей. Проприоцепция (проприорецепция) — ощущение положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве.

В коленном суставе существуют различные типы механорецепторов, которые в свою очередь делятся на инкапсулированные и свободные нервные окончания. К инкапсулированным относятся: тельца Руффини, тельца Пачини, сухожильные тельца Гольджи [74–76].

М.П. Лисицын и Т.М. Андреева [77] в 2001 г. провели подробный обзор литературы на тему проприоцептивной функции крестообразного комплекса коленного сустава. В обзоре была упомянута работа T.J. Limbird и соавт. [78], где авторы проводили электромиографию мышц бедра во время ходьбы и заметили, что при нагрузке на поврежденный сустава фиксировалась повышенная

активность мышц задней группы и сниженная активность четырехглавой мышцы бедра. В связи с этим наступает гипотрофия мышц бедра на поврежденной конечности, что является одним из клинических признаков повреждения ПКС. Разные авторы это расценивают как адаптационный механизм, так как повышенная активность мышц задней группы, которые являются синергистами ПКС, способствуют стабильности коленного сустава.

Установлено, что после реконструкции ПКС сохраняется гипотрофия *m. quadriceps*. Известный факт, что чем выраженнее гипотрофия четырехглавой мышцы бедра, тем меньше объем сгибания в суставе. Для решения данной проблемы существует специфическая реабилитация, направленная на устранение атрофии и улучшение проприоцептивной функции [79].

Существует ряд исследований, подтверждающий реиннервацию трансплантата [80, 81], что может также быть подтверждением пользы специфической реабилитации. R.M. Biedert и E.B. Zwick [80] проводили обследование 12 человек, которым проведена пластика ПКС при помощи электромиографии (ЭМГ). В течение 1,8 года (средний срок наблюдения) авторы отметили изменения в мышечном ответе при раздражении ПКС при помощи Lachman-теста, что свидетельствовало о появлении новых сенсорных рецепторов.

Д.В. Федулова и К.А. Бердюгин [82] в 2018 г. изучали процессы изменения проприорецепции после сочетанной травмы ПКС и мениска коленного сустава. Авторы пришли к выводу, что данный вид повреждений приводит к плохим показателям на поврежденной конечности. Отмечается также, что двигательная чувствительность нарушается только со стороны повреждения и не затрагивает здоровую конечность. При использовании баланс-тренинга авторы отметили улучшение проприоцептивной чувствительности и отметили возможность ее восстановления.

S.W. Young и соавт. [83] исследовали реиннервацию ауто- и аллотрансплантатов ПКС. В заключение автор не нашел доказательств значительной реиннервации механорецепторов трансплантатов ПКС у людей. Не наблюдалось также и различия между ауто- и аллотрансплантатами.

Д.В. Федулова [84] анализировала результаты развития двигательной чувствительности в период восстановительного лечения после травмы ПКС. Автор сделала выводы, что недостаток проприоцепции ощущается при угле сгибания в 30°, а также, что при реабилитационных мероприятиях, направленных на развитие баланса и координацию двигательной чувствительности, проприоцепция на поврежденной конечности приближается к здоровой.

D. Rebmann и соавт. [85] в своей работе проводили иммуногистохимический анализ механорецепторов в человеческих трансплантатах ПКС. В исследовании

участвовали 33 пациента. Из них: у 3 пациентов использовали аллотрансплантат PBTB (patellar bone-tendon-bone), у 14 — аутоотрансплантат PBTB, и у 12 — аутоотрансплантат GST (*m. gracilis*, *m. semitendinosus*). В контрольной группе были пациенты с со свежим повреждением ПКС. Во всех трансплантатах присутствовали 2 типа механорецепторов: тельца Руфинни и свободные нервные окончания. Самое большое количество механорецепторов было зафиксировано в трансплантате GST, а свободных нервных окончаний — в аутоотрансплантатах GST и PBTB. Аллотрансплантаты имели низкое содержание механорецепторов. Стоит отметить, что данное исследование стало первым исследованием в отношении обнаружения механорецепторов в человеческом трансплантате ПКС. Авторы указывают о частичном увеличении количества рецепторов со временем, что может указывать на реиннервацию трансплантата.

E. Tsuda и соавт. [86] в своей работе исследовали рефлекторную дугу ACL-hamstring после пластики ПКС. В работе сообщается о 3 исследуемых в возрасте 28–30 лет. В анамнезе проводилась пластика ПКС аутоотрансплантатом PBTB. Период наблюдения составил 37, 80 и 59 мес. Пациентам проводилась повторная артроскопия, во время которой при помощи электрода стимулировалась ПКС. Параллельно со стимуляцией связки выполнялась ЭМГ двуглавой мышцы бедра и полусухожильной мышцы. В 2 случаях отмечалась повышенная активность ЭМГ, что является положительным сигналом в отношении восстановления проприоцептивных свойств трансплантата.

## Реабилитация

Реабилитация пациентов детского возраста после пластики ПКС заслуживает особого внимания. В отечественной и зарубежной литературе имеются различные мнения по данному вопросу [87–91]. Однако, несмотря на это, прослеживаются общие принципы относительно разгрузки прооперированной конечности, контроля за отеком, постепенной разработки объема движений и сроков возвращения к занятиям спортом (6–12 мес.).

В работе М.Б. Цыкунова [92] поднимается вопрос оценки патологии опорно-двигательного аппарата. Автор приходит к однозначному выводу, что экспертный анализ невозможен без использования шкал. Этот вопрос сохраняет свою актуальность и у пациентов детского возраста, которые нуждаются в разработке эффективной программы реабилитации на основании данных шкал оценки.

L.M. Kruse и соавт. [93] в своем систематическом обзоре приходят к интересным выводам относительно реабилитации после пластики ПКС. Они не отметили никакой принципиальной разницы между использованием разных типов ортезов, их длины и ношением этих медицинских приспособлений в принципе. Не было отмечено и негативных последствий для пациентов, начавших

в ранние сроки разработку движений в объеме сгибания коленного сустава от 0 до 90°. Несмотря на большое количество исследований в области реабилитации, очень незначительный процент из них описывает возможность возвращения в спорт и его сроки с момента начала реабилитации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотелось бы отметить важность исследований в области оперативного лечения ПКС у пациентов с активными зонами роста. Как было сказано ранее, новой парадигмой стало увеличение частоты травм ПКС у детей и подростков, активно занимающихся спортом. Появление новых данных, подтверждающих факт возникновения таких осложнений после травмы ПКС, как повреждение медиального мениска, суставного хряща и медиальной коллатеральной связки, совместно с расширенными операционными возможностями поможет предотвратить указанные последствия, а также увеличит вероятность возвращения пациента в спорт. В некоторых случаях консервативное лечение поможет избежать оперативного вмешательства. Несмотря на значительный прогресс в данной области

за последние годы, тема требует дальнейшего изучения, разработки новых и оптимизации уже известных хирургических техник. Кроме того, вопрос системы оценки нарушений опорно-двигательного аппарата и разработки эффективной программы реабилитации, основанной на ее данных, на сегодняшний день также сохраняет свою актуальность [94, 95].

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / DISCLAIMERS

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Источник финансирования.** Не указан.

**Funding source.** Not specified.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность Андреевой Татьяне Михайловне за помощь в поиске актуальной информации.

**Acknowledgements.** The authors are grateful to Tatiana M. Andreeva for conducting a search of up-to-date actual data.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lee H.M., Ching C.K., Liao J.J. Correlation between proprioception, muscular strength, knee laxity and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency // *Knee*. 2009. Vol. 16, N5. P. 387–391. DOI: 10.1016/j.knee.2009.01.006
- Parkkari J., Pasanen K., Mattila V.M., et al. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46,500 people with a 9-year follow-up // *Br J Sports Med*. 2008. Vol. 42, N6. P. 422–426. DOI: 10.1136/bjism.2008.046185
- Kraus T., Svehlik M., Singer G., et al. The epidemiology of knee injuries in children and adolescents // *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012. Vol. 132, N6. P. 773–779. DOI: 10.1007/s00402-012-1480-0
- Al-Hadithy N., Dodds A.L., Akhtar K.S., Gupte C.M. Current concepts of the management of anterior cruciate ligament injuries in children // *Bone Joint J*. 2013. Vol. 95-B, N11. P. 1562–1569. DOI: 10.1302/0301-620X.95B11.31778
- Utukuri M.M., Somayaji H.S., Khanduja V., et al. Update on paediatric ACL injuries // *Knee*. 2006. Vol. 13, N5. P. 345–352. DOI: 10.1016/j.knee.2006.06.001
- Stanitski C.L., Harvell J.C., Fu E. Observation on acute knee hemarthrosis in children and adolescents // *J Pediatr Orthop*. 1993. Vol. 13, N4. P. 506–510. DOI: 10.1097/01241398-199307000-00016
- Beck N.A., Lawrence J.T., Nordin J.D., et al. ACL tears in school-aged children and adolescents over 20 years // *Pediatrics*. 2017. Vol. 139, N3. P. e20161877. DOI: 10.1542/peds.2016-1877
- Werner B.C., Yang S., Looney A.M., Gwathmey F.W. Trends in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament injury and reconstruction // *J Pediatr Orthop*. 2016. Vol. 36, N5. P. 447–452. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000482
- Boden B.P., Din G.S., Fegin H., Garrett W.J. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury // *Orthopedics*. 2000. Vol. 23, N6. P. 573–574.
- Harven K.J., Seeland M. Gender difference in noncontact ACL // *Clin Sport Med*. 2000. Vol. 19, N2. P. 287–902.
- Newman J.T., Carry P.M., Terhune E.B., et al. Factors predictive of concomitant injuries among children and adolescents undergoing anterior cruciate ligament surgery // *Am J Sports Med*. 2015. Vol. 43, N2. P. 282–288. DOI: 10.1177/0363546514562168
- Vavken P., Tepolt F.A., Kocher M.S. Concurrent meniscal and chondral injuries in pediatric and adolescent patients undergoing ACL reconstruction // *J Pediatr Orthoped*. 2018. Vol. 38, N2. P. 105–109. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000777
- Krych A.J., Pitts R.T., Dajani K.A., et al. Surgical repair of meniscal tears with concomitant anterior cruciate ligament reconstruction in patients 18 years and younger // *Am J Sports Med*. 2010. Vol. 38, N5. P. 976–982. DOI: 10.1177/0363546509354055
- Hewett T.E., Myer G.D., Ford K.R., et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study // *Am J Sports Med*. 2005. Vol. 33, N4. P. 492–501. DOI: 10.1177/0363546504269591
- Holden S., Boreham C., Doherty C., et al. Clinical assessment of countermovement jump landing kinematics in early adolescence: sex differences and normative values // *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015. Vol. 30, N5. P. 469–474. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2015.03.008
- Smith H.C., Vacek R., Jonson R.J., et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: review of literature — part 2: hor-

- monal, genetic, cognitive factors, previous injury and extrinsic risk factors // *Sports Health*. 2012. Vol. 4, N2. P. 155–161. DOI: 10.1177/1941738111428282
17. Dare D.M., Fabricant P.D., McCarty M.M., et al. Increased lateral tibial slope is a risk factor for pediatric anterior cruciate ligament injury: an MRT-dased control study of 152 patients // *Am J Sports Med*. 2015. Vol. 43, N7. P. 1632–1639. DOI: 10.1177/0363546515579182
18. Caine D., Maffulli N., Caine C. Epidemiology of injury in child and adolescent sports: injury rates, risk factors, and prevention // *Clin Sports Med*. 2008. Vol. 27, N1. P. 19–50. DOI: 10.1016/j.csm.2007.10.008
19. Moksnes H., Engebretsen L., Risberg M.A. Prevalence and incidence of new meniscus and cartilage injuries after a nonoperative treatment algorithm for ACL tears in skeletally immature children: a prospective MRI study // *Am J Sports Med*. 2013. Vol. 41, N8. P. 1771–1779. DOI: 10.1177/0363546513491092
20. Fabricant P.D., Lakomkin N., Cruz A.I., et al. Early ACL reconstruction in children leads to less meniscal and articular cartilage damage when compared with conservative or delayed treatment // *J ISAKOS*. 2016. Vol. 1, N1. P. 10–15. DOI: 10.1136/jisakos-2015-000012
21. Arastu M.H., Grange S., Twyman R. Prevalence and consequences of delayed diagnosis of anterior cruciate ligament ruptures // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015. Vol. 23, N4. P. 1201–1205. DOI: 10.1007/s00167-014-2947-z
22. Perera N.S., Joel J., Bunola J.A. Anterior cruciate ligament rupture: delay to diagnosis // *Injury*. 2013. Vol. 44, N12. P. 1862–1865. DOI: 10.1016/j.injury.2013.07.024
23. Mather R.C. 3rd, Garrett W.E., Cole B.J., et al. Cost-effectiveness analysis of the diagnosis of meniscus tears // *Am J Sports Med*. 2015. Vol. 43, N1. P. 128–137. DOI: 10.1177/0363546514557937
24. Van Dyck P., Vanhoenacker F.M., Lambrecht V., et al. Prospective comparison of 1.5 and 3.0-T MRI for evaluating the knee menisci and ACL // *J Bone Joint Surg Am*. 2013. Vol. 95, N10. P. 916–924. DOI: 10.2106/JBJS.L.01195
25. van der List J.P., Mintz D.N., DiFelice G.S. The Location of anterior cruciate ligament tears in pediatric and adolescents patients: Magnetic Resonance study // *J Pediatr Orthop*. 2019. Vol. 39, N9. P. 441–448. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001041
26. Swami V.G., Mabee M., Hui C., Jarembo J.L. MRI-anatomy of the tibial ACL attachment and proximal epiphysis in large population of skeletally immature knees: reference parameters for planning anatomic physeal-sparing ACL reconstruction // *Am J Sports Med*. 2014. Vol. 42, N7. P. 1644–1651. DOI: 10.1177/0363546514530293
27. Kocher M.S., Micheli L.J., Zurakowski D., Luke A. Partial tears of the anterior cruciate ligament in children and adolescents // *Am J Sports Med*. 2002. Vol. 30, N5. P. 697–703. DOI: 10.1177/03635465020300051201
28. Noyes F.R., Matthews D.S., Mooar P.A., Grood E.S. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability // *J Bone Joint Surg Am*. 1983. Vol. 65, N2. P. 163–174. DOI: 10.2106/00004623-198365020-00004
29. Kostogiannis I., Ageberg E., Neuman P., et al. Activity level and subjective knee function 15 years after anterior cruciate ligament injury: a prospective, longitudinal study of nonreconstructed patients // *Am J Sports Med*. 2007. Vol. 35, N7. P. 1135–1143. DOI: 10.1177/0363546507299238
30. Ekas G.R., Monknes H., Grinden H., et al. Coping with anterior cruciate ligament from childhood to maturation. A prospective case series of 44 patients with mean 8 years follow-up // *Am J Sports Med*. 2019. Vol. 47, N1. P. 22–30. DOI: 10.1177/0363546518810750
31. Ekas G.R., Laane M.M., Larnoe A., et al. Knee pathology in young adults after pediatric ACL injury. A prospective case series of 47 patients with a mean 9,5-year follow-up // *Am J Sports Med*. 2019. Vol. 47, N7. P. 1557–1566. DOI: 10.1177/0363546519837935
32. Madelaine A., Fournier G., Sappey-Mariniere E., et al. Conservative management of anterior cruciate ligament injury in paediatric population: about 53 patients // *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018. Vol. 104, N8. P. S169–S173. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.09.001
33. Dingel A., Aoyama J., Ganley T., Shea K. Pediatric ACL tears: natural history // *J Pediatr Orthopedics*. 2019. Vol. 39, N6 Suppl 1. P. S47–S49. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001367
34. Ramski D.E., Kanj W.W., Franklin C.C., et al. Anterior cruciate ligament tears in children and adolescents: a meta-analysis of non-operative versus operative treatment // *Am J Sports Med*. 2014. Vol. 42, N11. P. 2769–2776. DOI: 10.1177/0363546513510889
35. Dunn K.L., Larm K.C., McLeod T.C. Early operative versus delayed or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament injuries in pediatric patients // *J Athlet Training*. 2016. Vol. 51, N5. P. 425–427. DOI: 10.4085/1062-6050.51.5.11
36. Lang P.J., Sugimoto D., Micheli L.J. Prevention, treatment and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children // *J Sports Med*. 2017. Vol. 12, N8. P. 133–141. DOI: 10.2147/OAJSM.S133940
37. Садыков Р.Ш., Богатов В.Б., Пономарев И.Р. Пластика передней крестообразной связки коленного сустава у детей с открытыми зонами роста. В сб.: Классика и инновации в травматологии и ортопедии: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию профессора А.П. Барабаша. Саратов : Амирит, 2016. С. 301–302.
38. Брянская А.И., Сергеева П.П. Опыт хирургического лечения повреждений передней крестообразной связки у подростков // *Детская хирургия*. 2015. Т. 19, № 3. С. 13–14.
39. Lawrence J.T., Bowers A.L., Belding J., et al. All-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients // *Clin Orthop Relat Res*. 2010. Vol. 468, N7. P. 1971–1977. DOI: 10.1007/s11999-010-1255-2
40. McCarthy M.M., Graziano J., Green D.W., Cordasco F.A. All-epiphyseal, all-inside anterior cruciate ligament reconstruction technique for skeletally immature patients // *Arthrosc Tech*. 2012. Vol. 1, N2. P. e231–e239. DOI: 10.1016/j.eats.2012.08.005
41. Anderson A.F., Anderson C.N. Transepiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in pediatric patients: surgical technique // *Sports Health*. 2009. Vol. 1, N1. P. 76–80. DOI: 10.1177/1941738108326703
42. Knapik D.M., Voos J.E. Anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: a meta-analysis comparing repair versus reconstruction techniques // *J Pediatr Orthopedics*. 2020. Vol. 40, N9. P. 492–502.
43. Cordasco F.A., Mayer S.W., Green E.W. All-inside, all-epiphyseal acl reconstruction in sceletally immature athletes: return to sports, incidence of second surgery, and 2-year clinical out-

- comes // *Am J Sports Med.* 2017. Vol. 45, N4. P. 856–863. DOI: 10.1177/0363546516677723
- 44.** Салахов М.П., Авраменко В.В. Сравнительный анализ артроскопических методик реконструкции передней крестообразной связки у детей подросткового возраста // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2020. Т. 8, № 8. С. 269–268.
- 45.** Chambers C.C., Monroe E.J., Allen C.R., Pandya N.K. Partial transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction: clinical, functional, and radiographic outcomes // *Am J Sports Med.* 2019. Vol. 47, N6. P. 1353–1360. DOI: 10.1177/0363546519836423
- 46.** Mathew S., Ellis H., Wyatt C., et al. Is anteromedial drilling safe in transphyseal ACL reconstruction in adolescents with growth remaining? // *J Pediatr Orthopedics.* 2019. Vol. 39, N4. P. 278–283. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001289
- 47.** Micheli L.J., Rask B., Gerberg L. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who are prepubescent // *Clin Orthop Relat Res.* 1999. N364. P. 40–47. DOI: 10.1097/00003086-199907000-00006
- 48.** Kocher M.S., Garg S., Micheli L.J. Physealsparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents // *J Bone Joint Surg Am.* 2005. Vol. 87, Suppl 1, Pt 2. P. 2371–2379. DOI: 10.2106/JBJS.F.00441
- 49.** Willimon S.C., Jones C.R., Herzog M.M., et al. Micheli anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature youths: a retrospective case series with a mean 3-year follow-up // *Am J Sports Med.* 2015. Vol. 43, N12. P. 2974–2981. DOI: 10.1177/0363546515608477
- 50.** Kocher M.S., Heyworth B.E., Fabricant P.D., et al. Outcome of physeal-sparing anterior cruciate ligament reconstruction with iliotibial band autograft in skeletally immature prepubescent children // *J Bone Joint Surg Am.* 2018. Vol. 100, N13. P. 1087–1094. DOI: 10.2106/JBJS.17.01327
- 51.** Lanzetti R.M., Pace V., Ciompi A., et al. Over the top ACL reconstruction in patient with open physes: a long-term follow-up study // *Int Orthop.* 2020. Vol. 44, N4. P. 771–778. DOI: 10.1007/s00264-020-04490-4
- 52.** Anderson A.F. Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients: a preliminary report // *J Bone Joint Surg Am.* 2003. Vol. 85, N7. P. 1255–1263. DOI: 10.2106/00004623-200307000-00011
- 53.** Kumar S., Ahearne D., Hunt D.M. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: follow-up to a minimum of sixteen years of age // *J Bone Joint Surg Am.* 2013. Vol. 95, N1. P. e1. DOI: 10.2106/JBJS.K.01707
- 54.** Calvo R., Figueroa D., Gili F., et al. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up // *Am J Sports Med.* 2015. Vol. 43, N2. P. 289–294. DOI: 10.1177/0363546514557939
- 55.** Cruz A.I., Fabricant P.D., McGraw M., et al. All-epiphyseal anterior cruciate reconstruction in children: review of safety and early complications // *J Pediatr Orthop.* 2017. Vol. 37, N3. P. 204–209. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000606
- 56.** Smith J.O., Yasen S.K., Palmer H.C., et al. Paediatric ACL repair reinforced with temporary internal bracing // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016. Vol. 24, N6. P. 1845–1851. DOI: 10.1007/s00167-016-4150-x
- 57.** Lubowitz J.H., MacKay G., Gilmer B. Knee medial collateral ligament and posteromedial corner anatomic repair with internal bracing // *Arthrosc Tech.* 2014. Vol. 3, N4. P. e505–e508. DOI: 10.1016/j.eats.2014.05.008
- 58.** Dabis J., Yasen S.K., Foster A.J., et al. Paediatric proximal ACL tears managed with direct ACL repair is safe, effective and has excellent short-term outcomes // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020. Vol. 28, N8. P. 2551–2556. DOI: 10.1007/s00167-020-05872-2
- 59.** Kiapour A.M., Ecklund K., Murray M.M., et al. Changes in cross-sectional area and signal intensity of healing anterior cruciate ligaments and grafts in the first 2 years after surgery // *Am J Sports Med.* 2019. Vol. 47, N8. P. 1831–1843. DOI: 10.1177/0363546519850572
- 60.** Wong S.E., Feeley B.T., Pandya N.K. Complications after pediatric ACL reconstruction: a meta-analysis // *J Pediatr Orthop.* 2019. Vol. 39, N8. P. e566–e571. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001075
- 61.** Collins M.J., Arns T.A., Leroux T., et al. Growth abnormalities following anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature patient: a systematic review // *Arthroscopy.* 2016. Vol. 32, N8. P. 1714–1723. DOI: 10.1016/j.arthro.2016.02.025
- 62.** Shifflett G.D., Green D.W., Widmann R.F., Marx R.G. Growth arrest following ACL reconstruction with hamstring autograft in skeletally immature patients: a review of 4 cases // *J Pediatr Orthop.* 2016. Vol. 36, N4. P. 355–361. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000466
- 63.** Mäkelä E.A., Vainionpää S., Vihtonen K., et al. The effect of trauma to the lower femoral epiphyseal plate. An experimental study in rabbits // *J Bone Joint Surg Br.* 1988. Vol. 70, N2. P. 187–191. DOI: 10.1302/0301-620X.70B2.3346285
- 64.** Kohl S., Stutz C., Decker S., et al. Mid-term results of transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents // *Knee.* 2014. Vol. 21, N1. P. 80–85. DOI: 10.1016/j.knee.2013.07.004
- 65.** Yoo W.J., Kocher M.S., Micheli L.J. Growth plate disturbance after transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature adolescent patients: an MR imaging study // *J Pediatr Orthop.* 2011. Vol. 31, N6. P. 691–696. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3182210952
- 66.** Golański G., Flont P., Lipczyk Z., Niedzielski K.R. Results of treatment of the intercondylar eminence of tibia in children // *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 2010. Vol. 75, N5. P. 305–311. (In Polish).
- 67.** Bogunovic L., Tarabichi M., Harris D., Wright R. Treatment of tibial eminence fractures: a systematic review // *J Knee Surg.* 2015. Vol. 28, N3. P. 255–262. DOI: 10.1055/s-0034-1388657
- 68.** Меркулов В.Н., Довлуру Р.К., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Повреждения передней крестообразной связки с отрывом костного фрагмента от межмышцелкового возвышения большеберцовой кости у детей и подростков // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2014. № 2. С. 46–51.
- 69.** Meyers M.H., McKeever F.M. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia // *J Bone Joint Surg Am.* 1959. Vol. 41-A, N2. P. 209–222.
- 70.** Molander M.L., Wallin G., Wikstad I. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia: a review of 35 patients // *J Bone Joint Surg Br.* 1981. Vol. 63-B, N1. P. 89–91. DOI: 10.1302/0301-620X.63B1.7225187
- 71.** Kocher M.S., Foreman E.S., Micheli L.J. Laxity and functional outcome after arthroscopic reduction and internal fixation of displaced tibial spine fractures in children // *Arthroscopy.* 2003. Vol. 19, N10. P. 1085–1090. DOI: 10.1016/j.arthro.2003.10.014

- 72.** Vega J.R., Iribarra L.A., Baar A.K., et al. Arthroscopic fixation of displaced tibial eminence fractures: a new growth plate-sparing method // *Arthroscopy*. 2008. Vol. 24, N11. P. 1239–1243. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.07.007
- 73.** Liljeros K., Werner S., Janarv P.M. Arthroscopic fixation of anterior tibial spine fractures with bioabsorbable nails in skeletally immature patients // *Am J Sports Med*. 2009. Vol. 37, N5. P. 923–928. DOI: 10.1177/0363546508330133
- 74.** Barrack R.L., Skinner H.B., Buckley S.L. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee // *Am J Sports Med*. 1989. Vol. 17, N1. P. 1–6. DOI: 10.1177/036354658901700101
- 75.** Freeman M.A., Wyke B.D. Articular contributions to limb muscle reflexes. The effects of partial neurectomy of the knee joint on postural reflexes in the hind limbs of the cat // *J Physiol Lond*. 1964. Vol. 171, N3. P. 56.
- 76.** Zimny M.L., Wink C.S. Neuroreceptors in the tissues of the knee joint // *J Electromyogr Kinesiol*. 1991. Vol. 1, N3. P. 148–157. DOI: 10.1016/1050-6411(91)90031-Y
- 77.** Лисицын М.П., Андреева Т.М. Проприоцептивная функция крестообразного комплекса коленного сустава (обзор литературы) // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2001. № 3. С. 69–74.
- 78.** Limbird T.J., Shiavi R., Frazer M., Borra H. EMG profiles of knee joint musculature during walking: changes induced by anterior cruciate ligament deficiency // *J Orthop Res*. 1988. Vol. 6, N5. P. 630–638. DOI: 10.1002/jor.1100060503
- 79.** Barrack R.L., Lund P.J., Munn B.G., et al. Evidence of reinnervation of free patellar tendon autograft used for anterior cruciate ligament reconstruction // *Am J Sports Med*. 1997. Vol. 25, N2. P. 196–202. DOI: 10.1177/036354659702500210.
- 80.** Biedert R.M., Zwick E.B. The intraoperative evaluation of the anterior cruciate ligament reflex in bone-patellar tendon-bone grafts after ACL reconstruction using electromyography // *J Bone Joint Surg Br*. 1997. Vol. 79, N2. P. S203.
- 81.** Corrigan J.P., Cashman W.F., Brady M.P. Proprioception in the cruciate deficient knee // *J Bone Joint Surg Br*. 1992. Vol. 74, N2. P. 247–250. DOI: 10.1302/0301-620X.74B2.1544962.
- 82.** Федулова Д.В., Бердюгин К.А. Роль проприоцепции в механизме движения человека и ее восстановление после разрыва передней крестообразной связки и мениска коленного сустава // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 4. С. 192.
- 83.** Young S.W., Valladares R.D., Loi F., Dragoo J.L. Mechanoreceptor reinnervation of autografts versus allografts after anterior cruciate ligament reconstruction // *Orthop J Sports Med*. 2016. Vol. 4, N10. P. 2325967116668782. DOI: 10.1177/2325967116668782.
- 84.** Федулова Д.В. Развитие проприоцепции после травматического повреждения передней крестообразной связки коленного сустава. В кн.: *Физическая культура и спорт-основы здоровой нации: Материалы IV Международной научно-практической конференции / под ред. Е.Г. Фоменко*. Чита : Забайкальский государственный университет, 2017. С. 227–234.
- 85.** Rebmann D., Mayr H.O., Schmal H., et al. Immunohistochemical analysis of sensory corpuscles in human transplants of the anterior cruciate ligament // *J Orthop Surg Res*. 2020. Vol. 15, N1. P. 270. DOI: 10.1186/s13018-020-01785-5
- 86.** Tsuda E., Ishibashi Y., Okamura Y., Toh S. Restoration of anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2003. Vol. 11, N2. P. 63–67. DOI: 10.1007/s00167-002-0338-3
- 87.** Fabricant P.D., Jones K.J., Delos D., et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete: a review of current concepts: AAOS exhibit selection // *J Bone Joint Surg Am*. 2013. Vol. 95, N5. P. e28. DOI: 10.2106/JBJS.L.00772
- 88.** Fabricant P.D., McCarthy M.M., Cordasco F.A., Green D.W. All-inside, all-epiphyseal autograft reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete // *JBJS Essent Surg Tech*. 2013. Vol. 3, N2. P. e9. DOI: 10.2106/JBJS.ST.M.00017
- 89.** Akinleye S.D., Sewick A., Wells L. All-epiphyseal ACL reconstruction: a three-year follow-up // *Int J Sports Phys Ther*. 2013. Vol. 8, N3. P. 300–310.
- 90.** Greenberg E.M., Albaugh J., Ganley T.J., Lawrence J.T. Rehabilitation considerations for all epiphyseal ACL reconstruction // *Int J Sports Phys Ther*. 2012. Vol. 7, N2. P. 185–196.
- 91.** Yellin J.L., Fabricant P.D., Gornitzky A., et al. Rehabilitation following anterior cruciate ligament tears in children: a systematic review // *JBJS Rev*. 2016. Vol. 4, N1. P. e4. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.0.00001
- 92.** Цыкунов М.Б. Реабилитационный диагноз при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий международной классификации функционирования // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2019. Т. 2, № 2. С. 107–125.
- 93.** Kruse L.M., Gray B., Wright R.W. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review // *J Bone Joint Surg Am*. 2012. Vol. 94, N19. P. 1737–1748. DOI: 10.2106/JBJS.K.01246
- 94.** Fabricant P.D., Robles A., Downey-Zayas T., et al. Development and validation of a pediatric sports activity rating scale: the Hospital for Special Surgery Pediatric Functional Activity Brief Scale (HSS Pedi-FABS) // *Am J Sports Med*. 2013. Vol. 41, N10. P. 2421–2429. DOI: 10.1177/0363546513496548
- 95.** Kocher M.S., Smith J.T., Iversen M.D., et al. Reliability, validity, and responsiveness of a modified International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (Pedi-IKDC) in children with knee disorders // *Am J Sports Med*. 2011. Vol. 39, N5. P. 933–939. DOI: 10.1177/0363546510383002

## REFERENCES

- 1.** Lee HM, Ching CK, Liao JJ. Correlation between proprioception, muscular strength, knee laxity and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency. *Knee*. 2009;16(5):387–391. doi: 10.1016/j.knee.2009.01.006
- 2.** Parkkari J, Pasanen K, Mattila VM, et al. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46,500 people with a 9-year follow-up. *Br J Sports Med*. 2008;42(6):422–426. doi: 10.1136/bjism.2008.046185
- 3.** Kraus T, Svehlik M, Singer G, et al. The epidemiology of knee injuries in children and adolescents. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012;132(6):773–779. doi: 10.1007/s00402-012-1480-0

4. Al-Hadithy N, Dodds AL, Akhtar KS, Gupte CM. Current concepts of the management of anterior cruciate ligament injuries in children. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11):1562–1569. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.31778
5. Utukuri MM, Somayaji HS, Khanduja V, et al. Update on paediatric ACL injuries. *Knee.* 2006;13(5):345–352. doi: 10.1016/j.knee.2006.06.001
6. Stanitski CL, Harvell JC, Fu E. Observation on acute knee hemarthrosis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* 1993;13(4):506–510. doi: 10.1097/01241398-199307000-00016
7. Beck NA, Lawrence JT, Nordin JD, et al. ACL tears in school-aged children and adolescents over 20 years. *Pediatrics.* 2017;139(3):e20161877. doi: 10.1542/peds.2016-1877
8. Werner BC, Yang S, Looney AM, Gwathmey FW. Trends in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Pediatr Orthoped.* 2016;36(5):447–452. doi: 10.1097/BPO.0000000000000482
9. Boden BP, Din GS, Fegin H, Garrett WJ. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics.* 2000;23(6):573–574.
10. Harven KJ, Seeland M. Gender difference in noncontact ACL. *Clin Sport Med.* 2000;19(2):287–902.
11. Newman JT, Carry PM, Terhune EB, et al. Factors predictive of concomitant injuries among children and adolescents undergoing anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med.* 2015;43(2):282–288. doi: 10.1177/0363546514562168
12. Vavken P, Tepolt FA, Kocher MS. Concurrent meniscal and chondral injuries in pediatric and adolescent patients undergoing ACL reconstruction. *J Pediatr Orthoped.* 2018;38(2):105–109. doi: 10.1097/BPO.0000000000000777
13. Krych AJ, Pitts RT, Dajani KA, et al. Surgical repair of meniscal tears with concomitant anterior cruciate ligament reconstruction in patients 18 years and younger. *Am J Sports Med.* 2010;38(5):976–982. doi: 10.1177/0363546509354055
14. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492–501. doi: 10.1177/0363546504269591
15. Holden S, Boreham C, Doherty C, et al. Clinical assessment of countermovement jump landing kinematics in early adolescence: sex differences and normative values. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2015;30(5):469–474. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2015.03.008
16. Smith HC, Vacek R, Jonson RJ, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: review of literature – part 2: hormonal, genetic, cognitive factors, previous injury and extrinsic risk factors. *Sports Health.* 2012;4(2):155–161. doi: 10.1177/1941738111428282
17. Dare DM, Fabricant PD, McCarty MM, et al. Increased lateral tibial slope is a risk factor for pediatric anterior cruciate ligament injury: an MRT-dased control study of 152 patients. *Am J Sports Med.* 2015;43(7):1632–1639. doi: 10.1177/0363546515579182
18. Caine D, Maffulli N, Caine C. Epidemiology of injury in child and adolescent sports: injury rates, risk factors, and prevention. *Clin Sports Med.* 2008;27(1):19–50. doi: 10.1016/j.csm.2007.10.008
19. Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Prevalence and incidence of new meniscus and cartilage injuries after a nonoperative treatment algorithm for ACL tears in skeletally immature children: a prospective MRI study. *Am J Sports Med.* 2013;41(8):1771–1779. doi: 10.1177/0363546513491092
20. Fabricant PD, Lakomkin N, Cruz AI, et al. Early ACL reconstruction in children leads to less meniscal and articular cartilage damage when compared with conservative or delayed treatment. *J ISAKOS.* 2016;1(1):10–15. doi: 10.1136/jisakos-2015-000012
21. Arastu MH, Grange S, Twyman R. Prevalence and consequences of delayed diagnosis of anterior cruciate ligament ruptures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(4):1201–1205. doi: 10.1007/s00167-014-2947-z
22. Perera NS, Joel J, Bunola JA. Anterior cruciate ligament rupture: delay to diagnosis. *Injury.* 2013;44(12):1862–1865. doi: 10.1016/j.injury.2013.07.024
23. Mather RC 3rd, Garrett WE, Cole BJ, et al. Cost-effectiveness analysis of the diagnosis of meniscus tears. *Am J Sports Med.* 2015;43(1):128–137. doi: 10.1177/0363546514557937
24. Van Dyck P, Vanhoenacker FM, Lambrecht V, et al. Prospective comparison of 1.5 and 3.0-T MRI for evaluating the knee menisci and ACL. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(10):916–924. doi: 10.2106/JBJS.L.01195
25. van der List JP, Mintz DN, DiFelice GS. The Location of anterior cruciate ligament tears in pediatric and adolescents patients: Magnetic Resonance study. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(9):441–448. doi: 10.1097/BPO.0000000000001041
26. Swami VG, Mabee M, Hui C, Jarembo JL. MRI-anatomy of the tibial ACL attachment and proximal epiphysis in large population of skeletally immature knees: reference parameters for planning anatomic physeal-sparing ACL reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014;42(7):1644–1651. doi: 10.1177/0363546514530293
27. Kocher MS, Micheli LJ, Zurakowski D, Luke A. Partial tears of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. *Am J Sports Med.* 2002;30(5):697–703. doi: 10.1177/03635465020300051201
28. Noyes FR, Matthews DS, Mooar PA, Grood ES. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(2):163–174. doi: 10.2106/00004623-198365020-00004
29. Kostogiannis I, Ageberg E, Neuman P, et al. Activity level and subjective knee function 15 years after anterior cruciate ligament injury: a prospective, longitudinal study of nonreconstructed patients. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1135–1143. doi: 10.1177/0363546507299238
30. Ekas GR, Monknes H, Grinden H, et al. Coping with anterior cruciate ligament from childhood to maturation. A prospective case series of 44 patients with mean 8 years follow-up. *Am J Sports Med.* 2019;47(1):22–30. doi: 10.1177/0363546518810750
31. Ekas GR, Laane MM, Larneo A, et al. Knee pathology in young adults after pediatric ACL injury. A prospective case series of 47 patients with a mean 9,5-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2019;47(7):1557–1566. doi: 10.1177/0363546519837935
32. Madelaine A, Fournier G, Sappey-Marinié E, et al. Conservative management of anterior cruciate ligament injury in paediat-



- ric population: about 53 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018;104(8S):S169–S173. doi: 10.1016/j.otsr.2018.09.001
- 33.** Dingel A, Aoyama J, Ganley T, Shea K. Pediatric ACL tears: natural history. *J Pediatr Orthopedics*. 2019;39(6 Suppl 1):S47–S49. doi: 10.1097/BPO.0000000000001367
- 34.** Ramski DE, Kanj WW, Franklin CC, et al. Anterior cruciate ligament tears in children and adolescents: a meta-analysis of nonoperative versus operative treatment. *Am J Sports Med*. 2014;42(11):2769–2776. doi: 10.1177/0363546513510889
- 35.** Dunn KL, Larm KC, McLeod TC. Early operative versus delayed or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament injuries in pediatric patients. *J Athlet Training*. 2016;51(5):425–427. doi: 10.4085/1062-6050.51.5.11
- 36.** Lang PJ, Sugimoto D, Micheli LJ. Prevention, treatment and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children. *J Sports Med*. 2017;12(8):133–141. doi: 10.2147/OAJSM.S133940
- 37.** Sadykov RSh, Bogatov VB, Ponamarev IR. Plastika perednei krestobraznoi svyazki kolennogo sustava u detei s otkrytymi zonami rosta. In: (Conference proceedings) *Klassika i innovatsii v travmatologii i ortopedii*: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 75-letiyu professora A.P. Barabasha. Saratov: Amirit; 2016. P. 301–302. (In Russ.)
- 38.** Bryanskaya AI, Sergeeva PP. Surgical treatment of injured anterior cruciate ligament in adolescents. *Detskaya khirurgiya*. 2015;19(3):13–14. (In Russ.)
- 39.** Lawrence JT, Bowers AL, Belding J, et al. All-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(7):1971–1977. doi: 10.1007/s11999-010-1255-2
- 40.** McCarthy MM, Graziano J, Green DW, Cordasco FA. All-epiphyseal, all-inside anterior cruciate ligament reconstruction technique for skeletally immature patients. *Arthrosc Tech*. 2012;1(2):e231–e239. doi: 10.1016/j.eats.2012.08.005
- 41.** Anderson AF, Anderson CN. Transepiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in pediatric patients: surgical technique. *Sports Health*. 2009;1(1):76–80. doi: 10.1177/1941738108326703
- 42.** Knapik DM, Voos J. E. Anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: a meta-analysis comparing repair versus reconstruction techniques. *J Pediatr Orthopedics*. 2020;40(9):492–502.
- 43.** Cordasco FA, Mayer SW, Green EW. All-inside, all-epiphyseal acl reconstruction in skeletally immature athletes: return to sports, incidence of second surgery, and 2-year clinical outcomes. *Am J Sports Med*. 2017;45(4):856–863. doi: 10.1177/0363546516677723
- 44.** Salakhov MR, Avramenko VV. Comparative analysis of arthroscopic techniques for reconstruction of the anterior cruciate ligament in adolescent children. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta*. 2020;8(8):269–268. (In Russ.)
- 45.** Chambers CC, Monroe EJ, Allen CR, Pandya NK. Partial transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction: clinical, functional, and radiographic outcomes. *Am J Sports Med*. 2019;47(6):1353–1360. doi: 10.1177/0363546519836423
- 46.** Mathew S, Ellis H, Wyatt C, Sabatini M, et al. Is anteromedial drilling safe in transphyseal ACL reconstruction in adolescents with growth remaining? *J Pediatr Orthopedics*. 2019;39(4):278–283. doi: 10.1097/BPO.0000000000001289
- 47.** Micheli LJ, Rask B, Gerberg L. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who are prepubescent. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;(364):40–47. doi: 10.1097/00003086-199907000-00006
- 48.** Kocher MS, Garg S, Micheli LJ. Physsealsparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87 Suppl 1 Pt 2:2371–2379. doi: 10.2106/JBJS.F.00441
- 49.** Willimon SC, Jones CR, Herzog MM, et al. Micheli anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature youths: a retrospective case series with a mean 3-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2015;43(12):2974–2981. doi: 10.1177/0363546515608477
- 50.** Kocher MS, Heyworth BE, Fabricant PD, et al. Outcome of physeal-sparing anterior cruciate ligament reconstruction with iliotibial band autograft in skeletally immature prepubescent children. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(13):1087–1094. doi: 10.2106/JBJS.17.01327
- 51.** Lanzetti RM, Pace V, Ciompi A, et al. Over the top ACL reconstruction in patient with open physes: a long-term follow-up study. *Int Orthop*. 2020;44(4):771–778. doi: 10.1007/s00264-020-04490-4
- 52.** Anderson AF. Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(7):1255–1263. doi: 10.2106/00004623-200307000-00011
- 53.** Kumar S, Ahearne D, Hunt DM. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: follow-up to a minimum of sixteen years of age. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95(1):e1. doi: 10.2106/JBJS.K.01707
- 54.** Calvo R, Figueroa D, Gili F, et al. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2015;43(2):289–294. doi: 10.1177/0363546514557939
- 55.** Cruz AI, Fabricant PD, McGraw M, et al. All-epiphyseal anterior cruciate reconstruction in children: review of safety and early complications. *J Pediatr Orthop*. 2017;37(3):204–209. doi: 10.1097/BPO.0000000000000606
- 56.** Smith JO, Yasen SK, Palmer HC, et al. Paediatric ACL repair reinforced with temporary internal bracing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(6):1845–1851. doi: 10.1007/s00167-016-4150-x
- 57.** Lubowitz JH, MacKay G, Gilmer B. Knee medial collateral ligament and posteromedial corner anatomic repair with internal bracing. *Arthrosc Tech*. 2014;3(4):e505–e508. doi: 10.1016/j.eats.2014.05.008
- 58.** Dabis J, Yasen SK, Foster AJ, et al. Paediatric proximal ACL tears managed with direct ACL repair is safe, effective and has excellent short-term outcomes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(8):2551–2556. doi: 10.1007/s00167-020-05872-2
- 59.** Kiapour AM, Ecklund K, Murray MM, et al. Changes in cross-sectional area and signal intensity of healing anterior cruciate ligaments and grafts in the first 2 years after surgery. *Am J Sports Med*. 2019;47(8):1831–1843. doi: 10.1177/0363546519850572

- 60.** Wong SE, Feeley BT, Pandya NK. Complications after pediatric ACL reconstruction: a meta-analysis. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(8):e566–e571. doi: 10.1097/BPO.0000000000001075
- 61.** Collins MJ, Arns TA, Leroux T, et al. Growth abnormalities following anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature patient: a systematic review. *Arthroscopy.* 2016;32(8):1714–1723. doi: 10.1016/j.arthro.2016.02.025
- 62.** Shifflett GD, Green DW, Widmann RF, Marx RG. Growth arrest following ACL reconstruction with hamstring autograft in skeletally immature patients: a review of 4 cases. *J Pediatr Orthop.* 2016;36(4):355–361. doi: 10.1097/BPO.0000000000000466
- 63.** Mäkelä EA, Vainionpää S, Vihtonen K, et al. The effect of trauma to the lower femoral epiphyseal plate. An experimental study in rabbits. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(2):187–191. doi: 10.1302/0301-620X.70B2.3346285
- 64.** Kohl S, Stutz C, Decker S, et al. Mid-term results of transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents. *Knee.* 2014;21(1):80–85. doi: 10.1016/j.knee.2013.07.004
- 65.** Yoo WJ, Kocher MS, Micheli LJ. Growth plate disturbance after transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature adolescent patients: an MR imaging study. *J Pediatr Orthop.* 2011;31(6):691–696. doi: 10.1097/BPO.0b013e3182210952
- 66.** Golański G, Flont P, Lipczyk Z, Niedzielski KR. Results of treatment of the intercondylar eminence of tibia in children. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 2010;75(5):305–311. (In Polish).
- 67.** Bogunovic L, Tarabichi M, Harris D, Wright R. Treatment of tibial eminence fractures: a systematic review. *J Knee Surg.* 2015;28(3):255–262. doi: 10.1055/s-0034-1388657
- 68.** Merkulov VN, Dovluru RK, El'tsin AG, Mininkov DS. Injuries of the anterior cruciate ligament with separation of a bone fragment from the intercondylar eminence of the tibia in children and adolescents. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova.* 2014;(2):46–51. (In Russ.)
- 69.** Meyers MH, McKeever FM. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg Am.* 1959;41-A(2):209–222.
- 70.** Molander ML, Wallin G, Wikstad I. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia: a review of 35 patients. *J Bone Joint Surg Br.* 1981;63-B(1):89–91. doi: 10.1302/0301-620X.63B1.7225187
- 71.** Kocher MS, Foreman ES, Micheli LJ. Laxity and functional outcome after arthroscopic reduction and internal fixation of displaced tibial spine fractures in children. *Arthroscopy.* 2003;19(10):1085–1090. doi: 10.1016/j.arthro.2003.10.014
- 72.** Vega JR, Irribarra LA, Baar AK, et al. Arthroscopic fixation of displaced tibial eminence fractures: a new growth plate-sparing method. *Arthroscopy.* 2008;24(11):1239–1243. doi: 10.1016/j.arthro.2008.07.007
- 73.** Liljeros K, Werner S, Janarv PM. Arthroscopic fixation of anterior tibial spine fractures with bioabsorbable nails in skeletally immature patients. *Am J Sports Med.* 2009;37(5):923–928. doi: 10.1177/0363546508330133
- 74.** Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med.* 1989;17(1):1–6. doi: 10.1177/036354658901700101
- 75.** Freeman MA, Wyke BD. Articular contributions to limb muscle reflexes. The effects of partial neurectomy of the knee joint on postural reflexes in the hind limbs of the cat. *J Physiol Lond.* 1964;171(3):56.
- 76.** Zimny ML, Wink CS. Neuroreceptors in the tissues of the knee joint. *J Electromyogr Kinesiol.* 1991;1(3):148–157. doi: 10.1016/1050-6411(91)90031-Y
- 77.** Lisitsyn MP, Andreeva TM. Proprioceptive function of the cruciate complex of the knee joint (review). *Vestnik travmatologii i ortopedii im. NN Priorova.* 2001;(3):69–74. (In Russ.)
- 78.** Limbird TJ, Shiavi R, Frazer M, Borra H. EMG profiles of knee joint musculature during walking: changes induced by anterior cruciate ligament deficiency. *J Orthop Res.* 1988;6(5):630–638. doi: 10.1002/jor.1100060503
- 79.** Barrack RL, Lund PJ, Munn BG, et al. Evidence of reinnervation of free patellar tendon autograft used for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1997;25(2):196–202. doi: 10.1177/036354659702500210
- 80.** Biedert RM, Zwick EB. The intraoperative evaluation of the anterior cruciate ligament reflex in bone-patellar tendon-bone grafts after ACL reconstruction using electromyography. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79(2S):S203.
- 81.** Corrigan JP, Cashman WF, Brady MP. Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1992;74(2):247–250. doi: 10.1302/0301-620X.74B2.1544962
- 82.** Fedulova DV, Berdyugin KA. The role of proprioception in the mechanism of human movement and its recovery after rupture of the anterior cruciate ligament and meniscus of the knee joint. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2018;(4):192. (In Russ.)
- 83.** Young SW, Valladares RD, Loi F, Dragoo JL. Mechanoreceptor reinnervation of autografts versus allografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(10):2325967116668782. doi: 10.1177/2325967116668782
- 84.** Fedulova DV. The development of proprioception after traumatic injury of the anterior cruciate ligament of the knee joint. In: (Conference proceedings) *Fizicheskaya kul'tura i sport-osnovy zdorovoi natsii: Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.* Ed by E.G. Fomenko. Chita: Zabaikal'skii gosudarstvennyi universitet; 2017. P. 227–234. (In Russ.)
- 85.** Rebmann D, Mayr HO, Schmal H, et al. Immunohistochemical analysis of sensory corpuscles in human transplants of the anterior cruciate ligament. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):270. doi: 10.1186/s13018-020-01785-5
- 86.** Tsuda E, Ishibashi Y, Okamura Y, Toh S. Restoration of anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(2):63–67. doi: 10.1007/s00167-002-0338-3
- 87.** Fabricant PD, Jones KJ, Delos D, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete: a review of current concepts: AAOS exhibit selection. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(5):e28. doi: 10.2106/JBJS.L.00772
- 88.** Fabricant PD, McCarthy MM, Cordasco FA, Green DW. All-inside, all-epiphyseal autograft reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete. *JBJS Essent Surg Tech.* 2013;3(2):e9. doi: 10.2106/JBJS.ST.M.00017

- 89.** Akinleye SD, Sewick A, Wells L. All-epiphyseal ACL reconstruction: a three-year follow-up. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8(3):300–310.
- 90.** Greenberg EM, Albaugh J, Ganley TJ, Lawrence JT. Rehabilitation considerations for all epiphyseal ACL reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 2012;7(2):185–196.
- 91.** Yellin JL, Fabricant PD, Gornitzky A, et al. Rehabilitation following anterior cruciate ligament tears in children: a systematic review. *JBJS Rev.* 2016;4(1):e4. doi: 10.2106/JBJS.RVW.O.00001
- 92.** Tsykunov MB. Rehabilitation diagnosis in the pathology of the musculoskeletal system using categories of the international classification of functioning. *Fizicheskaya i reabilitatsionnaya meditsina, meditsinskaya rehabilitatsiya.* 2019;2(2):107–125. (In Russ.)
- 93.** Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(19):1737–1748. doi: 10.2106/JBJS.K.01246
- 94.** Fabricant PD, Robles A, Downey-Zayas T, et al. Development and validation of a pediatric sports activity rating scale: the Hospital for Special Surgery Pediatric Functional Activity Brief Scale (HSS Pedi-FABS). *Am J Sports Med.* 2013;41(10):2421–2429. doi: 10.1177/0363546513496548
- 95.** Kocher MS, Smith JT, Iversen MD, et al. Reliability, validity, and responsiveness of a modified International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (Pedi-IKDC) in children with knee disorders. *Am J Sports Med.* 2011;39(5):933–939. doi: 10.1177/0363546510383002

## ОБ АВТОРАХ

**\*Ярослав Александрович Иванов**, аспирант;  
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6352-2784>;  
eLibrary SPIN: 5575-4630; e-mail: docyaroslav@gmail.com.

**Александр Геннадьевич Ельцин**, канд. мед. наук;  
eLibrary SPIN: 411-2484; e-mail: agyeltsin@gmail.com.

**Дмитрий Сергеевич Мининков**, канд. мед. наук;  
eLibrary SPIN: 1494-3179; e-mail: 45040311@mail.ru.

## AUTHORS INFO

**Yaroslav A. Ivanov**, PhD student;  
10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6352-2784>;  
eLibrary SPIN: 5575-4630; e-mail: docyaroslav@gmail.com.

**Alexander G. Yeltsin**, PhD;  
eLibrary SPIN: 6411-2484; e-mail: agyeltsin@gmail.com.

**Dmitry S. Mininkov**, PhD;  
eLibrary SPIN: 1494-3179; e-mail: 45040311@mail.ru.