

Причины ревизионных вмешательств после пластики передней крестообразной связки: систематический обзор

А.С. Сапрыкин, М.А. Гвоздев, М.В. Рябинин, Н.Н. Корнилов

*НМИЦ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена Минздрава России
195427, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8*

Резюме

Реконструкция передней крестообразной связки (ПКС) является достаточно успешным оперативным вмешательством, которое позволяет достичь удовлетворительных результатов в 75–97 % случаев. С целью осветить основные категории факторов, которые могут влиять на функциональные исходы пациентов после реконструкции ПКС и приводить к неудовлетворительным исходам после операции, был проведен поиск публикаций в англо- и русскоязычных электронных базах данных PubMed и РИНЦ за период с 2000 по 2019 г. с использованием следующих ключевых слов: ПКС, ревизия, повторная реконструкция, повторная травма, повторный разрыв, несостоятельность трансплантата. Из 634 работ отобраны 113 статей с полным текстом. Критерии включения – более 50 случаев в сообщении; срок наблюдения более 2 лет; однородные группы пациентов; оценка функции коленного сустава; применение различных вариантов визуализации коленного сустава. Для более детального изучения в обзор были включены 26 публикаций. На основе проведенного анализа многочисленные причины неудачных исходов реконструкции ПКС были объединены в четыре основных группы: технические ошибки, допущенные как на этапе диагностики, так и во время операции (от 22 до 79 %); повторные травмы (от 18 до 79 %); биологические факторы (нарушение интеграции трансплантата и его лигаментизации) (до 17 %); ошибки реабилитации и другое (до 15 %). В целом проведенный обзор позволил систематизировать причины неудачных исходов реконструкции ПКС и выявить наиболее распространенные из них.

Ключевые слова: коленный сустав, передняя крестообразная связка, реконструкция, ревизионная хирургия, артроскопия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки: Сапрыкин А.С., e-mail: saprykin.a.s.93@gmail.com

Для цитирования: Сапрыкин А.С., Гвоздев М.А., Рябинин М.В., Корнилов Н.Н. Причины ревизионных вмешательств после пластики передней крестообразной связки: систематический обзор. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2021; 41 (3): 4–11. doi: 10.18699/SSMJ20210301

The reasons for revision surgery after reconstruction of the anterior cruciate ligament: a systematic review

A.S. Saprykin, M.A. Gvozdev, M.V. Ryabinin, N.N. Kornilov

*Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics of Minzdrav of Russia
195427, Saint-Petersburg, Akademik Baykov str., 8*

Abstract

Reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL) is a fairly successful surgical intervention that can achieve satisfactory results in 75–97 % of cases. In order to show the main categories of factors that can affect the functional outcomes of patients after ACL reconstruction and lead to unsatisfactory outcomes after surgery based on the literature data, we have run a search for English- and Russian-language publications in the electronic databases PubMed and RSCI for the period from 2000 to 2019 using the keywords: anterior cruciate ligament, ACL, revision, re-reconstruction, re-injury, re-rupture, graft failure. Out of 634 papers, 113 publications with the full text were selected. Inclusion criteria – more than 50 cases in the report; follow – up period of more than 2 years; the same groups of patients; assessment of knee joint function; application of various imaging options for the knee joint. 26 papers were included in

this review. Based on the analysis of the multiple causes of failed ACL reconstruction outcomes were merged into four main groups: technical mistakes diagnosis and surgery (from 22 % to 79 %); re-injury (18 % to 79 %); biological factors (violation of the integration of the graft and its ligamental) (17 %); errors of rehabilitation and other (15 %). Thus, the review made it possible to systematize the causes of unsuccessful outcomes of ACL reconstruction and identify the most frequent.

Key words: knee, anterior cruciate ligament, reconstruction, revision surgery, arthroscopy.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Correspondence author: Saprykin A.S., e-mail: saprykin.a.s.93@gmail.com

Citation: Saprykin A.S., Gvozdev M.A., Ryabinin M.V., Kornilov N.N. The reasons for revision surgery after reconstruction of the anterior cruciate ligament: a systematic review. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2021; 41 (3): 4–11. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20210301

Введение

Повреждения коленного сустава были и остаются чрезвычайно распространенным видом травм опорно-двигательного аппарата человека. Разрыв передней крестообразной связки (ПКС) – одна из самых часто встречающихся спортивных травм коленного сустава [1–3] (от 36,9 до 60,9 случаев на 100 тыс. человек [4, 5]). К числу специфических жалоб у пациентов с разрывами ПКС относится наличие нестабильности коленного сустава. Подобное состояние ограничивает физические возможности пациентов, приводит к существенному снижению качества жизни и не позволяет заниматься активными видами спорта на привычном уровне [6].

Основной целью реконструкции ПКС у физически активных молодых людей является полноценное восстановление функции коленного сустава и возвращение к прежнему уровню спортивных нагрузок. Артроскопическая пластика ПКС представляет собой одно из самых распространенных ортопедических операций [1] и достаточно успешное вмешательство, позволяющее достичь удовлетворительных результатов в 75–97 % случаев [7, 8]. Не существует общепринятого и однозначного определения неудачного исхода реконструкции ПКС, тем не менее сюда, как правило, относят пациентов с наличием субъективной и/или объективной нестабильности, болью, а также ограничением амплитуды движений в коленном суставе [9–11].

Причины неудачных исходов реконструкции ПКС достаточно разнообразны, их детальному обзору с систематизацией актуальных научных данных и посвящена данная работа. С целью осветить основные категории факторов, которые могут влиять на функциональные исходы пациентов после реконструкции ПКС и приводить к неудовлетворительным исходам после операции, нами проведен поиск англо- и русскоязычных публикаций в электронных базах данных PubMed и e-LIBRARY за период с 2000 по 2019 г. с использованием следующих ключевых

слов: передняя крестообразная связка (ПКС), ревизия, повторная реконструкция, повторная травма, повторный разрыв, несостоятельность трансплантата. Отобраны 113 полнотекстовых публикаций: рандомизированные контролируемые исследования (РКИ), метаанализы, систематические обзоры РКИ, проспективные или ретроспективные контролируемые исследования. Критерии включения: более 50 случаев в сообщении; срок наблюдения более двух лет; однородные группы пациентов; оценка функции коленного сустава при помощи артрометрии и специальных шкал (Lysholm score, Tegner activity score, International Knee Documentation Committee); применение различных вариантов визуализации коленного сустава с целью оценки корректности выполнения первичной реконструкции ПКС (магнитно-резонансная томография, компьютерная томография и рентгенография).

Согласно критериям включения было отобрано 26 сообщений для дальнейшего более детального обзора (рисунок). Следует подчеркнуть, что актуальных отечественных работ, соответствующих вышеперечисленным критериям, нами не обнаружено.

Основываясь на анализе изученной литературы, многочисленные причины неудачных исходов реконструкции ПКС можно объединить в четыре основных группы: технические ошибки, допущенные как на этапе диагностики, так и во время операции (от 22 до 79 %); повторные травмы (от 18 до 79 %); биологические факторы (нарушение интеграции трансплантата и его лигаментизации) (до 17 %); ошибки реабилитации и другое (до 15 %).

Технические факторы

Технические ошибки диагностического этапа и непосредственно операции наряду с повторной травмой преобладают в структуре причин рецидива передней нестабильности коленного сустава после реконструкции ПКС, и особое внимание, уделяемое им в научной

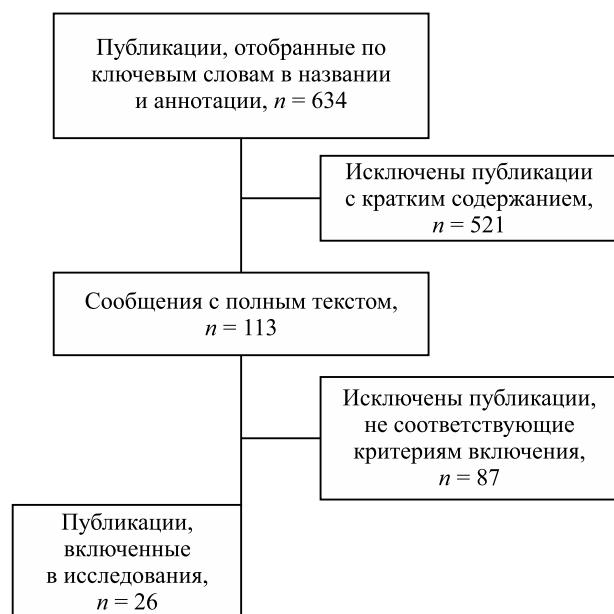


Рис. Процесс отбора публикаций по заданным критериям

Fig. The process of selecting publications according to specified criteria

литературе, объясняется желанием врачебного общества не только снизить число ревизионных реконструкций ПКС за счет минимизации ошибок во время первичного вмешательства, так или иначе связанных с действиями хирургов, но и предложить наиболее надежную методику операции [12, 13].

Среди технических ошибок наиболее часто встречаются неправильное позиционирование каналов в бедренной и большеберцовой костях, снижение прочностных характеристик аутотрансплантата ПКС из-за повреждения во время забора, недостижение должного натяжения трансплантата, а также отсутствие полноценной диагностики и лечения сопутствующих повреждений структур коленного сустава (мениски, суставной хрящ, задняя крестообразная связка, коллатеральные связки, задние отделы капсулы и т.д.) [14].

По данным большинства проанализированных публикаций, наиболее распространенной технической ошибкой во время пластики ПКС является некорректное позиционирование костных каналов. Расположение трансплантата вне анатомических точек прикрепления ПКС приводит к неправильному распределению нагрузок на его структуру и создает предпосылки к несостоятельности реконструкции [13]. Так, С. Trojani et al. при анализе 293 пациентов с ревизионной пластикой ПКС выявили неправильное расположение бедренного туннеля в 36 % случаев [15]. По данным MARS

(Multicenter ACL Revision Study), некорректное положение бедренного туннеля было одним из провоцирующих факторов неудачного исхода реконструкции ПКС в 47 % и единственной причиной – в 25 % случаев [16].

Смещение бедренного туннеля кпереди приводит к повышенному напряжению трансплантата во время сгибания. Подобное положение бедренного канала может стать причиной ограничения сгибания коленного сустава. В свою очередь, излишне заднее позиционирование бедренного туннеля будет вызывать чрезмерное повышение тонуса трансплантата при разгибании и ослабление при сгибании коленного сустава [17].

При вертикальном расположении бедренного канала во фронтальной плоскости трансплантату не удастся устранить ротационный компонент нестабильности [18]. Излишнее переднее позиционирование большеберцового туннеля приводит к ущемлению трансплантата о межмышечковую вырезку и ограничивает разгибание коленного сустава (развитие «циклоп-синдрома»). Костный канал большеберцовой кости, расположенный слишком кзади, может привести к импинджменту трансплантата с задней крестообразной связкой (ЗКС) (симптом «тетивы лука»), что может стать причиной ограничения полного сгибания в коленном суставе и повреждения структуры ЗКС. Достигнутая полная амплитуда движений в суставе в данном случае может привести к потере необходимого тонуса трансплантата. При чрезмерном заднем позиционировании большеберцового канала уменьшается внутрисуставная длина трансплантата, что приводит к снижению ограничивающей функции от переднего смещения голени относительно бедра [19]. Медиальное или латеральное смещение большеберцового канала может привести к конфликту трансплантата с соответствующим мышечком бедренной кости, а также возможному повреждению хряща плато большеберцовой кости [17, 18].

К техническим ошибкам также относятся ситуации, когда не были в полной мере диагностированы повреждения других связок коленного сустава и не предприняты дополнительные хирургические манипуляции для их коррекции. Неполющенное функционирование этих структур может приводить к сохранению остаточной нестабильности коленного сустава, что повышает нагрузку на трансплантат и увеличивает риск его несостоятельности [20].

В последнее время в научном сообществе широко обсуждаются вопросы улучшения

клинических и функциональных результатов у пациентов после реконструкции ПКС за счет максимально анатомичного расположения трансплантата [21]. Для достижения этой цели хирурги применяют методику двухпучковой пластики ПКС, а также различные техники формирования бедренного канала [22]. По данным шведского регистра реконструкции ПКС риск повторного оперативного вмешательства в 2 раза выше при использовании однопучкового трансплантата по сравнению с двухпучковой методикой [23]. Однако этот вывод не удалось подтвердить на основании данных регистров Дании и Норвегии [24, 25].

Применение транспортной техники (формирование бедренного туннеля через медиальный или дополнительный порт) позволяет осуществить более точное позиционирование бедренного туннеля [26]. Однако ряд исследований, основанных на материалах национальных регистров реконструкции ПКС, выявил меньший риск ревизионных вмешательств при использовании менее анатомичной (транстибиальной) методики формирования бедренного туннеля по сравнению с более анатомичной (транспортальной). Несмотря на достижение достаточно хорошей ротационной стабильности более анатомично расположенный трансплантат может испытывать чрезмерные нагрузки, что увеличивает риск повторного разрыва [27–29].

Фиксация трансплантата также является одним из ключевых факторов на пути к успешной реконструкции. Первичная фиксация должна быть достаточно надежной, чтобы обеспечить условия для последующей биологической интеграции трансплантата в костных каналах [30]. В частности, по данным литературы при использовании наkostной подвешивающей системы фиксации увеличивается риск ревизии по сравнению с внутриканальной техникой. В настоящее время в научном обществе нет обоснованного объяснения данного факта, но высказывается предположение, что использование подвешивающих систем фиксации повышает вероятность расширения костного канала, что в свою очередь создает предпосылки для несостоятельности трансплантата [31].

Наиболее обсуждаемым в современном хирургическом обществе остается вопрос о типе трансплантата. Для пластического замещения ПКС чаще всего применяются аутоотрансплантаты из связки надколенника с костными блоками (ВТВ), сухожилий подколенных сгибателей (полусухожильной и нежной мышц), сухожилия четырехглавой мышцы, сухожилия малоберцовых

мышц, а также сухожильные аллотрансплантаты и синтетические протезы [32].

Исследования, основанные на данных национальных регистров реконструкции ПКС Норвегии, Дании и Швеции, сообщают о более высоком риске ревизии после пластик с применением трансплантатов из сухожилия подколенных сгибателей по сравнению со связкой надколенника. Этот факт можно объяснить определенными свойствами трансплантата из связки надколенника, такими как короткое время биологической перестройки, прочность, достаточный размер и надежный метод применяемой фиксации [33, 34]. В ряде других исследований также выявлена более высокая частота необходимости ревизионной реконструкции ПКС при использовании аллотрансплантатов по сравнению с ауто-трансплантатами, особенно среди молодых пациентов [35, 36].

Также следует принимать во внимание, что не только тип трансплантата, но и его морфологические параметры могут влиять на результат проведенной операции. При использовании сухожилия подколенных сгибателей одним из ключевых факторов успешной реконструкции ПКС является и диаметр сформированного трансплантата [37]. Исследование, основанное на данных национальных регистров, показало, что каждое постепенное увеличение диаметра трансплантата на 0,5 мм (в пределах 7–9 мм) приводит к значительному снижению риска ревизии. Данная связь может быть объяснена биомеханической зависимостью между диаметром трансплантата и его прочностью на растяжение [38].

Синтетические протезы ПКС обладают повышенной механической прочностью, легкой доступностью, а также упрощают и укорачивают время операции. Однако применение синтетических трансплантатов при реконструкции ПКС по данным научных публикаций характеризуется неоднозначными отдаленными результатами [39]. Поэтому вопрос о широком применении синтетических протезов при реконструкции ПКС на сегодняшний день остается открытым, и многие хирурги предпочитают рассматривать подобные материалы как альтернативный вариант в особых случаях [39].

Повторная травма

В большинстве случаев (около 58 %) несостоятельность трансплантата после повторной травмы в раннем послеоперационном периоде происходит из-за его растяжения и потери тонуса. При несостоятельности нативной ПКС

чаще характерна картина с полным отрывом от места анатомического прикрепления и формированием культи. В более позднем послеоперационном периоде повторная травма, аналогично первичной, чаще приводит к полному разрыву трансплантата [40]. У пациентов, которые возвращаются к привычному уровню физической активности после пластики ПКС, частота повторного разрыва трансплантата составляет 5–10 % [16]. Установлено, что повторная травма становится причиной рецидива нестабильности у 18–79 % больных [12, 41]. Преждевременное возвращение пациента к спортивным занятиям после пластики ПКС до полного восстановления мышечного координирования снижает его способность адаптироваться к условиям нагрузок и увеличивает риск повторной травмы [41].

Биологические факторы

Биологическую несостоятельность трансплантата ПКС можно подозревать у пациентов с рецидивирующей нестабильностью в коленном суставе при условии исключения других причин (до 17 % случаев) [42]. Биологическая интеграция трансплантата протекает через стадии асептического воспаления, включая этап реваскуляризации и ремоделирования его структуры [43]. Клеточный состав медленно возвращается к показателям интактной структуры к 3–6 месяцам, а равномерная сосудистая сеть по всему трансплантату формируется через 12 месяцев. Начиная с 12-й недели структура трансплантата непрерывно ремоделируется в направлении морфологии и механической прочности интактной ткани и достигает своих максимальных свойств примерно через один год [44]. К этому времени коллагеновые волокна восстанавливают свою организацию, однако гетерогенный состав коллагеновых волокон различного диаметра, который характерен для интактной ПКС, восстанавливается лишь частично. При этом аутоотрансплантаты демонстрируют более устойчивую пролиферацию мелких коллагеновых волокон [45]. По сравнению с аутоотрансплантатом инкорпорация аллотрансплантата происходит с аналогичной последовательностью стадий, но протекает медленнее [44].

Ошибки реабилитации и другие причины

Чрезмерная нагрузка на трансплантат или слишком агрессивная реабилитация могут привести к нарушению биологической интеграции трансплантата [13, 16]. Инфекция же выявляется менее чем в 1 % случаев [46]. В течение первого года по прочности и устойчивости трансплантат существенно уступает нативной

ПКС (30–50 %). Чрезмерные нагрузки в этот период могут привести к растяжению трансплантата и потере его функции [47, 48]. Программа реабилитации должна быть скорректирована на основании этого наблюдения: не будучи чрезмерно агрессивной, она в то же время должна предотвращать развитие ограничения движений и контрактуры коленного сустава.

К задачам реабилитационного лечения относится восстановление мышечного баланса, силы мышц конечности, проприорецепции и снижение риска повторной травмы [18, 49]. Адекватная сила четырехглавой мышцы бедра является ключевым фактором восстановления после реконструкции ПКС. Помимо этого недостаток силы четырехглавой мышцы может быть одним из ключевых факторов при возникновении повторной травмы ПКС и рецидива нестабильности коленного сустава [49].

Ранний этап послеоперационной реабилитации начинается в первую неделю после операции и состоит в том, чтобы способствовать активации четырехглавой мышцы, уменьшению отека и боли, обеспечению безопасного передвижения в быту. При этом главная роль отводится функции четырехглавой мышцы [49]. Вначале разрешаются изокинетические упражнения, затем к ним добавляются упражнения, направленные на восстановление объема движений в коленном суставе от 0 до 90°. Через 3–4 месяца после операции разрешаются занятия на беговой дорожке и в тренажерном зале, через 4–6 месяцев – сгибание в коленном суставе более 90° и прыжки при условии полного восстановления тонуса четырехглавой мышцы. Только в самом конце реабилитации, не ранее чем через 6–8 месяцев, разрешаются упражнения, включающие ротацию в коленном суставе при фиксированной стопе и бег по пересеченной местности. В этом периоде допустимы специфичные упражнения, свойственные для того вида спорта, который является приоритетным для пациента [49].

Заключение

Артроскопическая реконструкция ПКС представляет собой достаточно успешное оперативное вмешательство, которое позволяет улучшить функцию коленного сустава, устранить нестабильность и вернуть пациента к активной деятельности. В подавляющем большинстве случаев этого удается достичь, и результаты операции признаются удовлетворительными. Высокая эффективность методики создала условия для ее широкого и повсеместного распространения, однако полностью избежать

неудовлетворительных исходов операции невозможно. Причины подобных результатов после пластики ПКС разнообразны. На наш взгляд, наибольшее значение имеют технические факторы. В эту группу входят ошибки как диагностического этапа, так и непосредственно операции. При этом не стоит забывать о риске повторной травмы, некорректных реабилитационных мероприятиях и биологических факторах. Но вне зависимости от условий, которые привели к неудовлетворительному результату после пластики ПКС, в подобных случаях встает вопрос о необходимости выполнения ревизионной реконструкции. Ревизионная пластика ПКС является более сложным оперативным вмешательством и имеет ряд технических трудностей для хирурга. А принимая во внимание тот факт, что число выполняемых первичных пластик ПКС ежегодно увеличивается во всем мире, потребность в ревизиях также будет только возрастать.

Список литературы / References

1. Sanders T.L., Maradit Kremers H., Bryan A.J., Larson D.R., Dahm D.L., Levy B.A., Stuart M.J., Krych A.J. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: a 21-year population-based study. *Am. J. Sports Med.* 2016; 44 (6): 1502–1507. doi: 10.1177/0363546516629944
2. Mall N.A., Chalmers P.N., Moric M., Tanaka M.J., Cole B.J., Bach B.R. Jr, Paletta G.A. Jr. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am. J. Sports Med.* 2014; 42 (10): 2363–2370. doi: 10.1177/0363546514542796
3. Zbrojkiewicz D., Vertullo C., Grayson J.E. Increasing rates of anterior cruciate ligament reconstruction in young Australians, 2000–2015. *Med. J. Aust.* 2018; 208 (8): 354–358. doi: 10.5694/mja17.00974
4. Kaeding C.C., Léger-St-Jean B., Magnussen R.A. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin. Sports Med.* 2017; 36 (1): 1–8. doi: 10.1016/j.csm.2016.08.001
5. Dale K.M., Bailey J.R., Moorman C.T. 3rd. Surgical management and treatment of the anterior cruciate ligament/medial collateral ligament injured knee. *Clin. Sports Med.* 2017; 36 (1): 87–103. doi: 10.1016/j.csm.2016.08.005
6. Ахпасhev A.A., Загородний Н.В., Канаев А.С., Кауркин С.Н., Скворцов Д.В. Функция коленного сустава во время ходьбы у больных с разрывом передней крестообразной связки коленного сустава до и после оперативного лечения. *Травматол. и ортопедия России.* 2016; (2): 15–24. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-2-15-24
7. Kraeutler M.J., Welton K.L., McCarty E.C., Bravman J.T. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2017; 99 (19): 1689–1696. doi: 10.2106/JBJS.17.00412
8. Horvath A., Senorski E.H., Westin O., Karlsson J., Samuelsson K., Svantesson E. Outcome after anterior cruciate ligament revision. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2019; 12 (3): 397–405. doi: 10.1007/s12178-019-09571-5
9. Mouarbes D., Menetrey J., Marot V., Courtot L., Berard E., Cavaignac E. Anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis of outcomes for quadriceps tendon autograft versus bone-patellar tendon-bone and hamstring-tendon autografts. *Am. J. Sports Med.* 2019; 47 (14): 3531–3540. doi: 10.1177/0363546518825340
10. Nagaraj R., Kumar M.N. Revision anterior cruciate ligament reconstruction in the nonathlete population. *Indian J. Orthop.* 2019; 53 (1): 154–159. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_673_17
11. Lowe W.R., Warth R.J., Davis E.P., Bailey L. Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2017; 25 (3): 239–249. doi: 10.5435/JAAOS-D-15-00710
12. Grassi A., Kim C., Marcheggiani Muc-cioli G.M., Zaffagnini S., Amendola A. What is the mid-term failure rate of revision ACL reconstruction? A systematic review. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2017; 475 (10): 2484–2499. doi: 10.1007/s11999-017-5379-5
13. Paterno M.V., Rauh M.J., Schmitt L.C., Ford K.R., Hewett T.E. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am. J. Sports Med.* 2014; 42 (7): 1567–1573. doi: 10.1177/0363546514530088
14. Kondo E., Yasuda K., Kitamura N., Onodera J., Yokota M., Yagi T., Iwasaki N. Effects of initial graft tension on clinical outcome after anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: comparison of two graft tension protocols. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2016; 17: 65. doi: 10.1186/s12891-016-0909-y
15. Trojani C., Sbihi A., Djian P., Potel J.F., Hulet C., Jouve F., Bussièrre C., Ehkirch F.P., Burdin G., Dubrana F., Beaufils P., Franceschi J.P., Chassaing V., Colombet P., Neyret P. Causes for failure of ACL reconstruction and influence of meniscectomies after revision. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2011; 19 (2): 196–201. doi: 10.1007/s00167-010-1201-6
16. MARS Group. Predictors of clinical outcome following revision anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Orthop. Res.* 2020; 38 (6): 1191–1203. doi: 10.1002/jor.24562

17. Dhawan A., Gallo R.A., Lynch S.A. Anatomic tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2016; 24 (7): 443–454. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00465
18. LaBella C.R., Hennrikus W., Hewett T.E. Council on Sports Medicine and Fitness, and Section on Orthopaedics. Anterior cruciate ligament injuries: diagnosis, treatment, and prevention. *Pediatrics.* 2014; 133 (5): 1437–1450. doi: 10.1542/peds.2014-0623
19. Galdi B., Reyes A., Brabston E.W., Levine W.N. Autologous hamstring anterior cruciate ligament graft failure using the anteromedial portal technique with suspensory femoral fixation: a case series of 7 patients. *Orthop. J. Sports Med.* 2015; 3 (1): 2325967114566599. doi: 10.1177/2325967114566599
20. Murawski C.D., Wolf M.R., Araki D., Muller B., Tashman S., Fu F.H. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: current concepts and future perspective. *Cartilage.* 2013; 4 (3 Suppl): 27–37. doi: 10.1177/1947603513486557
21. Schreiber V.M., van Eck C.F., Fu F.H. Anatomic double-bundle ACL reconstruction. *Sports Med. Arthrosc. Rev.* 2010; 18 (1): 27–32. doi: 10.1097/JSA.0b013e3181bf6634
22. Aga C., Kartus J.T., Lind M., Lygre S.H.L., Granan L.P., Engebretsen L. Risk of revision was not reduced by a double-bundle ACL reconstruction technique: results from the Scandinavian Registers. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2017; 475 (10): 2503–2512. doi: 10.1007/s11999-017-5409-3
23. Björnsson H., Andernord D., Desai N., Norrby O., Forssblad M., Petzold M., Karlsson J., Samuelsson K. No difference in revision rates between single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparative study of 16,791 patients from the Swedish national knee ligament register. *Arthroscopy.* 2015; 31 (4): 659–664. doi: 10.1016/j.arthro.2014.11.030
24. Kato Y., Maeyama A., Lertwanich P., Wang J.H., Ingham S.J., Kramer S., Martins C.Q., Smolinski P., Fu F.H. Biomechanical comparison of different graft positions for single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2013; 21 (4): 816–823. doi: 10.1007/s00167-012-1951-4
25. Araujo P.H., Asai S., Pinto M., Protta T., Middleton K., Linde-Rosen M., Irrgang J., Smolinski P., Fu F.H. ACL graft position affects in situ graft force following ACL reconstruction. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2015; 97 (21): 1767–1773. doi: 10.2106/JBJS.N.00539
26. Tejwani S.G., Prentice H.A., Wyatt R.W.B. Jr, Maletis G.B. Femoral tunnel drilling method: risk of reoperation and revision after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 2018; 46 (14): 3378–3384. doi: 10.1177/0363546518805086
27. Xu Y., Liu J., Kramer S., Martins C., Kato Y., Linde-Rosen M., Smolinski P., Fu F.H. Comparison of in situ forces and knee kinematics in anteromedial and high anteromedial bundle augmentation for partially ruptured anterior cruciate ligament. *Am. J. Sports Med.* 2011; 39 (2): 272–278. doi: 10.1177/0363546510383479
28. Desai N., Andernord D., Sundemo D., Alentorn-Geli E., Musahl V., Fu F., Forssblad M., Samuelsson K. Revision surgery in anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study of 17,682 patients from the Swedish National Knee Ligament Register. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2017; 25 (5): 1542–1554. doi: 10.1007/s00167-016-4399-0
29. Svantesson E., Sundemo D., Hamrin Senorski E., Alentorn-Geli E., Musahl V., Fu F.H., Desai N., Stålmán A., Samuelsson K. Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction is superior to single-bundle reconstruction in terms of revision frequency: a study of 22,460 patients from the Swedish National Knee Ligament Register. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2017; 25 (12): 3884–3891. doi: 10.1007/s00167-016-4387-4
30. Mermerkaya M.U., Atay O.A., Kaymaz B., Bekmez S., Karaaslan F., Doral M.N. Anterior cruciate ligament reconstruction using a hamstring graft: a retrospective comparison of tunnel widening upon use of two different femoral fixation methods. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2015; 23 (8): 2283–2291. doi: 10.1007/s00167-014-3034-1
31. Eysturoy N.H., Nissen K.A., Nielsen T., Lind M. The influence of graft fixation methods on revision rates after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 2018; 46 (3): 524–530. doi: 10.1177/0363546517748924
32. Mohtadi N.G., Chan D.S., Dainty K.N., Whelan D.B. Patellar tendon versus hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2011; 2011 (9): CD005960. doi: 10.1002/14651858.CD005960.pub2
33. Dhammi I.K., Rehan-Ul-Haq, Kumar S. Graft choices for anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian J. Orthop.* 2015; 49 (2): 127–128. doi: 10.4103/0019-5413.152393
34. Maletis G.B., Inacio M.C., Desmond J.L., Funahashi T.T. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: association of graft choice with increased risk of early revision. *Bone Joint J.* 2013; 95-B (5): 623–628. doi: 10.1302/0301-620X.95B5.30872
35. Wasserstein D., Khoshbin A., Dwyer T., Chahal J., Gandhi R., Mahomed N., Ogilvie-Harris D. Risk factors for recurrent anterior cruciate ligament reconstruction: a population study in Ontario, Canada, with 5-year follow-up. *Am. J. Sports Med.* 2013; 41 (9): 2099–2107. doi: 10.1177/0363546513493580
36. Bottoni C.R., Smith E.L., Shaha J., Shaha S.S., Raybin S.G., Tokish J.M., Rowles D.J. Autograft versus allograft anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study with a minimum 10-year follow-up. *Am. J. Sports Med.* 2015; 43 (10): 2501–2509. doi: 10.1177/0363546515596406
37. Snaebjörnsson T., Hamrin Senorski E., Ayeni O.R., Alentorn-Geli E., Krupic F., Norberg F.,

Karlsson J., Samuelsson K. Graft diameter as a predictor for revision anterior cruciate ligament reconstruction and KOOS and EQ-5D Values: A cohort study from the Swedish National Knee Ligament Register Based on 2240 Patients. *Am. J. Sports Med.* 2017; 45 (9): 2092–2097. doi: 10.1177/0363546517704177

38. Van Eck C.F., Kropf E.J., Romanowski J.R., Lesniak B.P., Tranovich M.J., van Dijk C.N., Fu F.H. Factors that influence the intra-articular rupture pattern of the ACL graft following single-bundle reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2011; 19 (8): 1243–1248. doi: 10.1007/s00167-011-1427-y

39. Satora W., Królikowska A., Czamara A., Reichert P. Synthetic grafts in the treatment of ruptured anterior cruciate ligament of the knee joint. *Polim. Med.* 2017; 47 (1): 55–59. doi: 10.17219/pim/76819

40. MARS Group, Ding D.Y., Zhang A.L., Allen C.R., Anderson A.F., Cooper D.E., DeBerardino T.M., Dunn W.R., Haas A.K., Huston L.J., Lantz B.B.A., Mann B., Spindler K.P., Stuart M.J., Wright R.W., Albright J.P., Amendola A.N., Andrich J.T., Annunziata C.C., Arciero R.A., Bach B.R. Jr., Baker C.L. 3rd, Bartolozzi A.R., Baumgarten K.M., Bechler J.R., Berg J.H., Bernas G.A., Brockmeier S.F., Brophy R.H., Bush-Joseph C.A., York J.J. Subsequent surgery after revision anterior cruciate ligament reconstruction: rates and risk factors from a multicenter cohort. *Am. J. Sports Med.* 2017; 45 (9): 2068–2076. doi: 10.1177/0363546517707207

41. Yan X., Yang X.G., Feng J.T., Liu B., Hu Y.C. Does revision anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction provide similar clinical outcomes to primary ACL reconstruction? A systematic review and meta-analysis. *Orthop. Surg.* 2020; 12 (6): 1534–1546. doi: 10.1111/os.12638

42. Leite C.B.G., Demange M.K. Biological enhancements for anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Ortop. Bras.* 2019; 27 (6): 325–330. doi: 10.1590/1413-785220192706226481

43. MARS Group, Wright R.W., Huston L.J., Spindler K.P., Dunn W.R., Haas A.K., Allen C.R., Cooper D.E., DeBerardino T.M., Lantz B.B., Mann B.J., Stuart M.J. Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort. *Am. J. Sports Med.* 2010; 38 (10): 1979–1986. doi: 10.1177/0363546510378645

44. Muller B., Bowman K.F. Jr, Bedi A. ACL graft healing and biologics. *Clin. Sports Med.* 2013; 32 (1): 93–109. doi: 10.1016/j.csm.2012.08.010

45. Takeuchi H., Niki Y., Matsunari H., Umeyama K., Nagashima H., Enomoto H., Toyama Y., Matsumoto M., Nakamura M. Temporal changes in cellular repopulation and collagen fibril remodeling and regeneration after allograft anterior cruciate ligament reconstruction: An experimental study using kusabira-orange transgenic pigs. *Am. J. Sports Med.* 2016; 44 (9): 2375–2383. doi: 10.1177/0363546516650881

46. Sonnery-Cottet B., Archbold P., Zayni R., Bortolletto J., Thaumat M., Prost T., Padua V.B., Chambat P. Prevalence of septic arthritis after anterior cruciate ligament reconstruction among professional athletes. *Am. J. Sports Med.* 2011; 39 (11): 2371–2376. doi: 10.1177/0363546511417567

47. Samitier G., Marcano A.I., Alentorn-Geli E., Cugat R., Farmer K.W., Moser M.W. Failure of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch. Bone Jt. Surg.* 2015; 3 (4): 220–240.

48. Kamath G.V., Redfern J.C., Greis P.E., Burks R.T. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 2011; 39 (1): 199–217. doi: 10.1177/0363546510370929

49. Thomeé R., Waldén M., Häggglund M. Return to sports after anterior cruciate ligament injury: neither surgery nor rehabilitation alone guarantees success – it is much more complicated. *Br. J. Sports Med.* 2015; 49 (22): 1422. doi: 10.1136/bjsports-2015-094793

Сведения об авторах:

Александр Сергеевич Сапрыкин, ORCID: 0000-0003-2315-4160, e-mail: saprykin.a.s.93@gmail.com

Максим Александрович Гвоздев, ORCID: 0000-0003-0733-0232, e-mail: m.a.gvozdev@bk.ru

Михаил Владимирович Рябинин, к.м.н., ORCID: 0000-0002-7504-3086, e-mail: ryabininm@rambler.ru

Николай Николаевич Корнилов, д.м.н., проф., ORCID: 0000-0001-6905-7900,
e-mail: drkornilov@hotmail.com

Information about the authors:

Aleksandr S. Saprykin, ORCID: 0000-0003-2315-4160, e-mail: saprykin.a.s.93@gmail.com

Maksim A. Gvozdev, ORCID: 0000-0003-0733-0232, e-mail: m.a.gvozdev@bk.ru

Mikhail V. Ryabinin, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-7504-3086, e-mail: ryabininm@rambler.ru

Nikolay N. Kornilov, doctor of medical sciences, professor, ORCID: 0000-0001-6905-7900,
e-mail: drkornilov@hotmail.com

Поступила в редакцию 22.12.2020

Принята к публикации 02.04.2021

Received 22.12.2020

Accepted 02.04.2021