

## ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

Сапрыкин А.С.<sup>1</sup>, Гвоздев М.А.<sup>1</sup>, Рябинин М.В.<sup>1</sup>, Орлов Ю.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: saprykin.a.s.93@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Минздрава России «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова», Санкт-Петербург

---

Реконструкция передней крестообразной связки (ПКС) имеет более чем 100-летнюю историю развития и значительно эволюционировала. Это в значительной степени было связано с лучшим пониманием биомеханики, анатомии ПКС и ее роли в функционировании коленного сустава. В частности, были более точно изучены и описаны структура ПКС, а также точки прикрепления двух ее пучков на бедренной и большеберцовой кости. К 1980 г. золотым стандартом реконструкции ПКС было восстановление переднемедиального пучка с использованием средней трети связки надколенника. В современном научном обществе среди хирургов продолжают дискуссии относительно наиболее оптимального трансплантата для пластического замещения ПКС. Сохраняющаяся ротационная нестабильность у пациентов после операции побудила хирургов пересмотреть ряд моментов реконструкции ПКС. Так возникла биомеханическая концепция, которая заключалась в максимальном приближении реконструкции ПКС к нормальной анатомии. Для решения этой задачи были предложены двухпучковая пластика ПКС и новая методика формирования бедренного канала через дополнительный порт. Подобный подход в сочетании с возрастающим интересом к сохранению остатков ПКС, в свою очередь, привел к выборочной реконструкции при ее частичных разрывах, а в последнее время – к биологической концепции реконструкции с сохранением остатков ткани ПКС при ее реконструкции. Цель работы – на основании анализа литературы осветить основные моменты исторического развития подходов к реконструкции ПКС.

---

Ключевые слова: коленный сустав, передняя крестообразная связка, реконструкция; артроскопия, история, обзор литературы.

## HISTORICAL DEVELOPMENT OF ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION

Saprykin A.S.<sup>1</sup>, Gvozdev M.A.<sup>1</sup>, Rybinin M.V.<sup>1</sup>, Orlov Y.N.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, St. Petersburg, e-mail: saprykin.a.s.93@gmail.com;

<sup>2</sup>First Saint Petersburg state medical University named after I.P. Pavlov, St. Petersburg

---

Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction has a more than 100-year history of development and has evolved significantly. This has largely been due to with a better understanding of the biomechanics, anatomy of the ACL and its role in the functioning of the knee joint. In particular, the structure of the ACL was more precisely studied and described, as well as the attachment points of its two bundles on the femur and tibia. In the 1980s, the «gold standard» for ACL reconstruction restoration of the anteromedial bundle using the middle third of the patellar ligament. In the modern scientific society, surgeons continue to discuss the most optimal graft for plastic replacement of the ACL. Continuing rotational instability in patients after surgery has prompted surgeons to review a number of aspects of ACL reconstruction. This gives rise to the biomechanical concept, which was to maximize the approximation of the reconstruction of the ACL to the normal anatomy. To solve this problem, a new method of forming the femoral canal through an additional port was proposed. Insufficient control of rotational laxity led to the development of double bundle ACL reconstruction. This concept, combined with a growing interest in preservation of the ACL remnant, led in turn to selective reconstruction in partial tears, and more recently to biological reconstruction with ACL remnant conservation. The aim of the work to highlight the main points of the historical development of approaches to the reconstruction of ACL based on the analysis of the literature.

---

Keywords: knee, anterior cruciate ligament, reconstruction, arthroscopy, history, literature review.

Артроскопическая пластика передней крестообразной связки (ПКС) является одной из самых распространенных ортопедических операций [1]. Только в США ежегодно

выполняется от 100 000 до 200 000 подобных вмешательств [2].

Несмотря на большое разнообразие предложенных методов хирургической коррекции передней нестабильности коленного сустава, на сегодняшний день в научном обществе сохраняются разногласия относительно оптимального объема и варианта пластики ПКС [3].

В историческом плане реконструкция ПКС совершенствовалась и претерпевала значительные изменения, что было связано со стремлением хирургов найти и предложить наиболее эффективную методику оперативного лечения передней нестабильности коленного сустава. На протяжении более 100 лет данная операция активно развивалась – от открытых (артротомических) до минимально инвазивных (артроскопических) вмешательств, которые заслуженно заняли свое место в арсенале хирургов-ортопедов во всем мире и стали считаться золотым стандартом реконструкции ПКС [4].

Внедрение артроскопии позволило уменьшить основные недостатки открытых методик пластики ПКС и качественно повысить уровень обследования коленного сустава. Применение артроскопии в хирургии коленного сустава позволило кардинальным образом изменить подход не только к самой реконструкции ПКС, но и к протоколам реабилитационных мероприятий [5].

Но, несмотря на довольно длительный период исторического развития и широкое разнообразие предложенных хирургических методик, на сегодняшний день в научном обществе отсутствует консенсус относительно оптимального объема и варианта реконструкции ПКС.

Отсутствие единого взгляда на оптимальный вариант оперативного вмешательства у пациентов с повреждением ПКС лишний раз свидетельствует о продолжающемся совершенствовании и развитии различных методик, а также поиске среди них наиболее эффективной.

Цель работы – на основании анализа литературы осветить основные моменты исторического развития подходов к реконструкции ПКС.

### **Развитие клинической диагностики повреждений ПКС**

Хирургические методы лечения нестабильности коленного сустава, связанные с разрывом ПКС, имеют длительную историю. К середине XIX в. среди анатомов и хирургов появился интерес к патологии ПКС. Именно в это время возникли первые научные труды, посвященные данной тематике [6].

Значение ПКС при сгибании коленного сустава (и ограничении переднезадней трансляции голени) было впервые отмечено в 1836 г. Weber. В этот период постановка диагноза повреждения ПКС не была очевидной. Клиническую нестабильность диагностировали путем проведения теста переднего выдвижного ящика при сгибании

коленного сустава до 90°, при этом голени придавались внутренняя и наружная ротация, а также нейтральное положение.

Позднее в 1875 г. Georges K. Noulis в своей работе «Entorse Du Genou» более точно описал роль ПКС в функционировании коленного сустава и привел тест, который позволял оценить целостность структуры ПКС при практически разогнутом коленном суставе. В настоящее время этот тест вошел в стандарты клинической диагностики повреждений ПКС под названием «Лакман-тест» («test de Lachman»). При выполнении указанного теста объективная стабильность определяется в сагиттальной плоскости при смещении голени относительно бедра при 30-градусном сгибании коленного сустава, оценивается в миллиметрах и сравнивается со стабильностью здорового сустава.

Дополнительные клинические признаки в виде ограничения движений, а также характерного хруста в суставе во время разрыва ПКС с последующим гемартрозом были описаны французским хирургом Paul F. Segond в 1879 г. в его работе «Recherche clinique et experimentale sur les epanchements sanguins du genou par entorse».

Ключевым моментом стали публикации в англоязычных журналах динамических тестов, которые позволили улучшить точность клинической диагностики повреждений ПКС. Одним из таких тестов был «Pivot Shift», описанный Galway.

В дальнейшем для более точного измерения стабильности коленного сустава данные тесты было предложено проводить при помощи специальных устройств (например, артрометра KT-1000/2000, Medmetric, San Diego, CA, USA) [7].

На сегодняшний день особое место в клинической диагностике отводится субъективным оценочным шкалам функционального состояния коленного сустава, в том числе и его стабильности (IKDC, KOOS и т.д.). Несмотря на возможное отсутствие явных признаков нестабильности во время проведения объективного осмотра (Lachman test, pivot shift test и др.), некоторые пациенты могут описывать субъективные ощущения нестабильности, неустойчивости и неуверенности в коленном суставе при определенных действиях во время занятия спортом (при выполнении резких ускорений, торможения и поворотов корпуса) [8].

### **Эволюция оперативных методов лечения разрывов ПКС**

К началу XX в. в научном мире были предложены первые варианты восстановления ПКС при помощи шва и реконструкции. Первый шов ПКС был выполнен Mayo Robson в 1885 г. Но опубликована данная методика была лишь в 1903 г. [9]. В том же году (1903) F. Lange была произведена первая пластика ПКС. В качестве трансплантата использовалось сухожилие полусухожильной мышцы, но исход операции был признан неудовлетворительным. Практически в это же время Hogarth Pringle (1902) выполнил

рефиксацию отрывного перелома плато большеберцовой кости в месте прикрепления ПКС. В России первая операция реконструкции ПКС была выполнена в 1914 г. И.И. Грековым. В качестве трансплантата была использована широкая фасция бедра [10].

Willis C. Campbell в 1935 г. для замещения ПКС предложил применять несвободный трансплантат из медиальной трети связки надколенника и части сухожилия четырехглавой мышцы бедра. Harry B. Masey в 1939 г. описал применение несвободного трансплантата из полусухожильной мышцы для реконструкции как передней, так и задней крестообразной связок [11].

Многие хирурги апробировали и внедрили данную методику в свою практику, что позволило в дальнейшем широко распространить данный вариант реконструкции ПКС. Все они применяли сухожилие полусухожильной или нежной мышц, освобожденное проксимально для реконструкции ПКС.

G. Puddu [12] тоже использовал технику с сухожилием полусухожильной мышцы, но большеберцовый туннель имел дополнительное суставное отверстие, расположенное довольно медиально. Такая модификация позволяла сохранить функцию внутреннего вращения мышцы.

В 1970-х гг. при недостаточности ПКС стало очевидным, что подвывих голени происходит чаще при разогнутом коленном суставе, чем при сгибании 90°. Поэтому любое предлагаемое хирургическое вмешательство должно было предотвращать скольжение латерального мыщелка голени в положении, близком к разгибанию. Поэтому ряд хирургов предложили внесуставные методики операций. Так, MacIntosh описал переднебоковой тенодез с использованием широкой фасции бедра [13]. Подобную операцию ранее предлагали Matti, Bennet и Bosworth. Другими хирургами впоследствии также были предложены аналогичные методики (Jaeger, Losee, Ellison, Müller и Andrews).

Однако периферические (внесуставные) реконструкции не обеспечивали долговременную стабильность коленного сустава, и необходимость реконструкции ПКС стала еще более очевидной. При этом подобные манипуляции до сих пор широко применяются, но, как правило, в качестве дополнения к внутрисуставной реконструкции [14, 15].

А.М. Ланда предлагал использовать при реконструкции ПКС несвободный ауто трансплантат из средней трети связки надколенника, который проводился через каналы в большеберцовой и бедренной костях. Kenneth G. Jones предложил также применять несвободный трансплантат из средней трети связки надколенника, но с костным блоком и формированием единственного костного туннеля только в бедре [10].

О свободном трансплантате из связки надколенника с костными блоками впервые сообщил Kurt Franke в 1969 г., при этом графт закреплялся в каналах за счет формы костных блоков (так называемая пресс-фит фиксация) [16].

А в 1982 г. А.В. Lipscomb для реконструкции ПКС впервые использовал два сухожилия (полусухожильной и нежной мышц). Однако он предлагал оставлять большеберцовую точку фиксации [17]. Данная методика с различными дополнениями и модификациями широко вошла в арсенал хирургов, применяющих этот трансплантат.

Основные различия заключались в применении свободного или фиксированного дистального конца трансплантата, количестве сухожильных пучков в трансплантате (2 или 4), в различных методах фиксации трансплантата [18].

Вопрос об оптимальном типе трансплантата и сегодня в хирургическом обществе остается очень обсуждаемым. Для пластического замещения ПКС чаще всего применяются ауто трансплантаты из связки надколенника с костными блоками (ВТВ), сухожилий подколенных сгибателей (полусухожильной и нежной мышц), сухожилия четырехглавой мышцы (с костным блоком и без него), сухожилия малоберцовых мышц, а также сухожильные аллотрансплантаты и синтетические протезы [19, 20].

### **Внедрение артроскопии при реконструкции ПКС**

Подавляющая часть вышеуказанных операций предусматривала применение артротомии коленного сустава, которая позволяла сформировать полноценные костные каналы и одновременно выполнить полноценную диагностику сустава. Но при этом подобные вмешательства являются довольно травматичными, часто приводят к серьезным функциональным нарушениям, способствуют раннему развитию деформирующего артроза. Поэтому вполне обоснован был постоянный поиск надежных малотравматичных операций, которые позволяли бы выполнять ранние активные движения в суставе и передвижения с полной нагрузкой на ноги [21].

Применение артроскопа в 1970-х гг. в хирургии коленного сустава при повреждении менисков сыграло ключевую роль и в развитии реконструкции ПКС. О первой артроскопической пластике ПКС сообщает D.J. Dandy в 1976 г. Полученные при этом удовлетворительные результаты послужили хорошим подспорьем для широкого внедрения артроскопии при реконструкции ПКС [22].

Внедрение артроскопии позволило нивелировать основные недостатки открытых способов пластики ПКС и качественно повысить уровень обследования коленного сустава. Подобные подходы позволяют сохранять целостность оболочек сустава, практически не нарушают его кровоснабжение и иннервацию. Но главным преимуществом артроскопической реконструкции ПКС является то, что она позволяет совершенно

изменить подходы к ведению пациентов после операции и значительно облегчить реабилитацию [23–25]. Артроскопическая хирургия дала возможность кардинальным образом изменить тактику лечения пациентов с повреждениями ПКС.

Несмотря на то что результаты традиционных реконструкций (трансплантат из связки надколенника или подколенных сухожилий) были удовлетворительными по прошествии времени, у части пациентов удавалось выявить положительный тест «Pivot Shift» различных степеней выраженности во время клинического обследования [26].

Наличие остаточной ротационной нестабильности коленного сустава заставило хирургов пересмотреть анатомию и биомеханику ПКС. Роль заднелатерального пучка связки, который эффективно защищал от рекурвации, переднего выдвижного ящика между 0° и 20° и внутренней ротации до сих пор недооценивалась. В научном обществе была осознана важность анатомической реконструкции ПКС с двумя пучками [27, 28].

Многие методики, которые были предложены в 1970-х, 1980-х и 1990-х гг., давали возможность сформировать только один туннель в большеберцовой и бедренной кости, что не позволяло выполнить анатомичную реконструкцию. Muneta [29] в 1999 г. стал первым, кто опубликовал предварительную серию пациентов, которым выполнялось восстановление двух пучков ПКС (переднемедиального и заднелатерального) во время реконструкции. Но только лишь в 2004 г. Yasuda в своей статье [30] представил анатомические ориентиры для позиционирования обоих пучков трансплантата. Однако реализация теории двухпучковой реконструкции ПКС на практике вызывает определенные технические трудности у хирургов. Подобная техника имеет долгую и трудоемкую кривую обучения, а также удваивает вероятность совершения ошибки при позиционировании каналов [31].

Помимо этого, хирургами была предложена антеромедиальная (через дополнительный переднемедиальный порт) техника формирования бедренного канала. Подобная методика создает условия для лучшей визуализации истинного места бедренного прикрепления ПКС и позволяет хирургам более точно сформировать бедренный канал, ориентируясь на анатомические ориентиры (межмышцелковый и бифуркационный гребень). Использование подобной техники дает возможность достичь расположения трансплантата, близкого к нормальной анатомии ПКС [32].

Однако на данный момент в научной литературе нет убедительных данных о превосходстве подобных методик пластики ПКС над традиционными. Необходимо более длительное наблюдение, чтобы судить об их эффективности [33].

Артроскопическая двухпучковая реконструкция ПКС позволила лучше понять анатомию, а также создала условия для размышления о способах оперативного лечения частичных разрывов.

В литературе были описаны следующие преимущества сохранения интактного пучка ПКС [34].

- Создание условий для лучшей послеоперационной интеграции трансплантата, что позволяет проводить более раннюю и агрессивную реабилитацию.
- Сохранение сосудистой сети на уровне синовиальной оболочки, также создает условия для лучшего заживления трансплантата.
- Сохранение существующих механорецепторов в неповрежденном пучке усиливает проприоцептивные качества коленного сустава, что повышает вероятность полноценного возобновления физической активности.

Подобная техника реконструкции требует особого внимания. При слишком большой резекции остатков ПКС возникает вероятность повреждения предполагаемого здорового пучка, а при недостаточной может возникнуть импинджмент в межмышцелковой вырезке.

Преимущества, связанные с сохранением предполагаемого интактного пучка связки при частичных разрывах, побудили хирургов рассмотреть возможность сохранения как можно большего количества связочной ткани даже при полных разрывах [35].

### **Заключение**

С момента широкого внедрения артроскопии в хирургию коленного сустава варианты оперативного лечения разрывов ПКС и реабилитации пациентов претерпели значительные изменения. Были предложены новые методики и варианты операции, совершенствовались инструментарий и применяемые фиксирующие системы. Одним из ключевых звеньев развития реконструкции ПКС был и остается поиск оптимального трансплантата. В современном научном обществе к консенсусу относительно наиболее эффективного трансплантата для пластического замещения ПКС так и не пришли. Начиная с 2000 г. в научном обществе стали развиваться биологическая и механическая концепции реконструкции ПКС, благодаря которым в хирургической среде произошел пересмотр некоторых моментов. Применение методики по восстановлению двух пучков ПКС и использованию антеромедиальной техники формирования бедренного канала показывает желание хирургов максимально приблизиться к нормальной анатомии и биомеханике коленного сустава. Следует также отметить, что в последнее время с ростом количества первичных операций по пластике ПКС возрастает потребность в ревизионных вмешательствах. Особый интерес в научном обществе вызывает ревизионная пластика ПКС, которая ставит перед хирургами ряд дополнительных задач и вопросов, а также определенным образом будет влиять на развитие реконструкции ПКС в будущем.

## Список литературы

1. Рикун О.В., Хоминец В.В., Федотов А.О. Современные тенденции в хирургическом лечении пациентов с разрывами передней крестообразной связки (обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. 2017. № 23 (4). С. 134-145. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-134-145.
2. 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. Vol. 44 (6). P. 1502-1507. DOI: 10.1177/0363546516629944.
3. Richmond J.C. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Med. Arthrosc. Rev.* 2018. Vol. 26 (4). P. 165-167. DOI: 10.1097/JSA.0000000000000218.
4. Schindler O.S. Surgery for anterior cruciate ligament deficiency: a historical perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012. Vol. 20 (1). P. 5-47. DOI: 10.1007/s00167-011-1756-x.
5. Mahapatra P., Horriat S., Anand B.S. Anterior cruciate ligament repair - past, present and future. *J. Exp. Orthop.* 2018. Vol. 15. No 5 (1). P. 20. DOI: 10.1186/s40634-018-0136-6.
6. Markatos K., Kaseta M.K., Lallos S.N., Korres D.S., Efstathopoulos N. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *Eur. J. Orthop. Surg Traumatol.* 2013. Vol. 23 (7). P. 747-752. DOI: 10.1007/s00590-012-1079-8.
7. Swain M.S., Henschke N., Kamper S.J., Downie A.S., Koes B.W., Maher C.G. Accuracy of clinical tests in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Chiropr. Man Therap.* 2014. Vol. 1. P. 22-25. DOI: 10.1186/s12998-014-0025-8.
8. Bhardwaj A., Solanki N.S., Jain H., Raichandani K., Raichandani S., Daruwalla V. Comparison of outcome after ACL reconstruction in terms of subjective assessment of symptoms and function and clinical assessment of ligament stability. *J. Clin. Orthop. Trauma.* 2018. Vol. 9 (2). P. 172-174. DOI: 10.1016/j.jcot.2016.09.010.
9. van der List J.P., DiFelice G.S. Primary repair of the anterior cruciate ligament: A paradigm shift. *Surgeon.* 2017. Vol. 15 (3). P. 161-168. DOI: 10.1016/j.surge.2016.09.006.
10. Герасимов Д.О. Ревизионная артроскопическая пластика передней крестообразной связки коленного сустава: дис. ...канд. мед.наук. Москва, 2015. 114 с.
11. Dandy D.J. Historical overview of operations for anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996. Vol. 3 (4). P. 256-261. DOI: 10.1007/BF01466629.

12. Puddu G. Method for reconstruction of the anterior cruciate ligament using the semitendinosus tendon. *Am. J. Sports Med.* 1980. Vol. 8 (6). P. 402-404. DOI: 10.1177/036354658000800603.
13. Andrews J.R., Sanders R. A "mini-reconstruction" technique in treating anterolateral rotatory instability (ALRI). *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1983. Vol. 172. P.93-96.
14. Inderhaug E., Stephen J.M., Williams A., Amis A.A. Anterolateral Tenodesis or Anterolateral Ligament Complex Reconstruction: Effect of Flexion Angle at Graft Fixation When Combined With ACL Reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 2017. Vol. 45 (13). P. 3089-3097. DOI: 10.1177/0363546517724422.
15. Castelli A., Zanon G., Jannelli E., Ivone A., Ferranti Calderoni E., Combi A., Mosconi M., Benazzo F. The role of the anterolateral ligament in knee's biomechanics: a case-control retrospective study. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2020. Vol. 30 (4). P. 653-658. DOI: 10.1007/s00590-019-02607-z.
16. Орлецкий А.К. Оперативные методы лечения хронической посттравматической нестабильности коленного сустава: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Москва, 1994. 48 с.
17. Samuelsen B.T., Webster K.E., Johnson N.R., Hewett T.E., Krych A.J. Hamstring Autograft versus Patellar Tendon Autograft for ACL Reconstruction: Is There a Difference in Graft Failure Rate? A Meta-analysis of 47,613 Patients. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2017. Vol. 475 (10). P. 2459-2468. DOI: 10.1007/s11999-017-5278-9.
18. Xie X., Liu X., Chen Z., Yu Y., Peng S., Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2015. Vol. 22 (2). P. 100-110. DOI: 10.1016/j.knee.2014.11.014.
19. Duchman K.R., Lynch T.S., Spindler K.P. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Surgery: Who gets What and Why? *Clin. Sports Med.* 2017. Vol. 36 (1). P. 25-33. DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.013.
20. Shaerf D.A., Pastides P.S., Sarraf K.M., Willis-Owen C.A. Anterior cruciate ligament reconstruction best practice: A review of graft choice. *World J. Orthop.* 2014. Vol. 18. No 5 (1). P. 23-29. DOI: 10.5312/wjo.v5.i1.23.
21. Chambat P., Guier C., Sonnery-Cottet B., Fayard J.M., Thaunat M. The evolution of ACL reconstruction over the last fifty years. *Int. Orthop.* 2013. Vol. 37 (2). P. 181-186. DOI: 10.1007/s00264-012-1759-3.
22. Dandy D.J. Arthroscopic surgery of the knee. *Br J Hosp Med.* 1982. Vol. 27 (4). P. 360-365.
23. Schillhammer C.K., Reid J.B. 3rd, Rister J., Jani S.S., Marvil S.C., Chen A.W., Anderson C.G., D'Agostino S., Lubowitz J.H. Arthroscopy Up to Date: Anterior Cruciate Ligament Anatomy. *Arthroscopy.* 2016. Vol. 32 (1). P. 209-212. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.10.009.

24. Yucens M., Aydemir A.N. Trends in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Last Decade: A Web-Based Analysis. *J Knee Surg.* 2019. Vol. 32 (6). P. 519-524. DOI: 10.1055/s-0038-1655764.
25. Kruse L.M., Gray B., Wright R.W. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J. Bone Joint Surg Am.* 2012. Vol. 3. No 94 (19). P. 1737-1748. DOI: 10.2106/JBJS.K.01246.
26. Abrams G.D., Harris J.D., Gupta A.K., McCormick F.M., Bush-Joseph C.A., Verma N.N., Cole B.J., Bach B.R. Jr. Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop. J. Sports Med.* 2014. Vol. 21. No 2 (1). 2325967113518305. DOI: 10.1177/2325967113518305.
27. Markatos K., Kaseta M.K., Lалlos S.N., Korres D.S., Efstathopoulos N. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2013. Vol. 23 (7). P. 747-752. DOI: 10.1007/s00590-012-1079-8.
28. Koga H., Muneta T., Yagishita K., Watanabe T., Mochizuki T., Horie M., Nakamura T., Otabe K., Sekiya I. Evaluation of a behind-remnant approach for femoral tunnel creation in remnant-preserving double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction - Comparison with a standard approach. *Knee.* 2015. Vol. 22 (3). P. 249-255. DOI: 10.1016/j.knee.2015.02.017.
29. Muneta T., Sekiya I., Yagishita K., Ogiuchi T., Yamamoto H., Shinomiya K. Two-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament using semitendinosus tendon with endobuttons: operative technique and preliminary results. *Arthroscopy.* 1999. Vol. 15 (6). P. 618-624. DOI: 10.1053/ar.1999.v15.0150611.
30. Yasuda K., Kondo E., Ichiyama H., Kitamura N., Tanabe Y., Tohyama H., Minami A. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy.* 2004. Vol. 20 (10). P. 1015-1025. DOI: 10.1016/j.arthro.2004.08.010.
31. Muneta T., Koga H., Nakamura T., Horie M., Watanabe T., Yagishita K., Sekiya I. A new behind-remnant approach for remnant-preserving double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction compared with a standard approach. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015. Vol. 23 (12). P. 3743-3749. DOI: 10.1007/s00167-014-3300-2.
32. 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. Vol. 21 (4). P. 816-823. DOI: 10.1007/s00167-012-1951-4.
33. 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. Vol. 4. No 97 (21). P. 1767-1773. DOI: 10.2106/JBJS.N.00539.

34. Borbon C.A., Mouzopoulos G., Siebold R. Why perform an ACL augmentation? *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc.* 2012. Vol. 20 (2). P. 245-251. DOI: 10.1007/s00167-011-1565-2.

35. Pujol N., Colombet P., Cucurulo T., Graveleau N., Hulet C., Panisset J.C., Potel J.F., Servien E., Sonnery-Cottet B., Trojani C., Djian P. French Arthroscopy Society (SFA). Natural history of partial anterior cruciate ligament tears: a systematic literature review. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2012. Vol. 98 (8). P. S160- S164. DOI: 10.1016/j.otsr.2012.09.013.