

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТИ СУХОЖИЛЬНЫХ АУТО- И АЛЛОТРАНСПЛАНТАТОВ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА В РАННЕМ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ

А.В. Рыбин<sup>1</sup>, И.А. Кузнецов<sup>1,2</sup>, В.П. Румакин<sup>1</sup>, Г.И. Нетылько<sup>1</sup>, М.П. Ломая<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

Ул. Акад. Байкова, д. 8, Санкт-Петербург, 195427, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России

Ул. Кирочная, д. 41, Санкт-Петербург, 191015, Россия

### Реферат

**Цель исследования** – поиск морфологических причин несостоятельности свободных сухожильных ауто- и аллотрансплантатов после реконструкции передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава в раннем послеоперационном периоде в эксперименте *in vivo*.

**Материал и методы.** Исследование выполнено на двух группах кроликов, по 9 животных в каждой группе. В первой группе выполняли аутопластику ПКС коленного сустава ауто сухожилием полусухожильной мышцы, взятой с оперируемой конечности. Во второй группе производилась аллопластика ПКС с использованием алло-сухожилий сгибателя стопы и пальцев, которые были забраны заранее у кроликов, выведенных из экспериментов в рамках данного или других исследований. Аллосухожилия были предварительно обработаны и стерилизованы в модифицированной среде Беякова.

**Результаты.** Основной причиной несостоятельности сухожильных трансплантатов ПКС после ее реконструкции в раннем послеоперационном периоде является некроз внутрисуставной части ауто- или аллотрансплантата на 15-е сутки после операции. В случае чрезмерного воздействия на трансплантат в ранние сроки происходит не выскальзывание его из костных каналов с ослаблением тонуса, а разрыв на протяжении внутрисуставной части или, что еще вероятнее, – по зоне демаркации (зубчатой линии). Внутриканальная часть трансплантата в первые несколько суток уже окружена грануляционной тканью, внутрисуставная часть такого окружения лишена.

**Выводы.** Сравнительное экспериментально-морфологическое исследование двух вариантов реконструкции ПКС в динамике показало однотипность изменений, с некоторой задержкой развития компенсаторно-приспособительных процессов при использовании аллотрансплантата. Именно некроз (или гомогенизация) внутрисуставной части ауто- или аллотрансплантата является причиной потенциальных неудач после пластики ПКС при чрезмерно ранней и необоснованно агрессивной реабилитации.

**Ключевые слова:** коленный сустав, пластика передней крестообразной связки (ПКС), сухожилие, ауто-трансплантат, аллотрансплантат, биопластический потенциал, некроз внутрисуставной части трансплантата.

DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75.

## Experimental and Morphological Aspects of Failed Tendon Auto- and Allografts after ACL Reconstruction in Early Postoperative Period

A.V. Rybin<sup>1</sup>, I.A. Kuznetsov<sup>1,2</sup>, V.P. Rumakin<sup>1</sup>, G.I. Netylko<sup>1</sup>, M.P. Lomaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics. 8, ul. Akad. Baykova, St. Petersburg, 195427, Russia

<sup>2</sup> Mechnikov North Western State Medical University. 41, Kirochnaya ul., St. Petersburg, 191015, Russia

### Abstract

**Purpose of the study** – search for morphological cause of failure for free tendon auto and allografts after ACL reconstruction of the knee joint in early postoperative period during *in vivo* experiment.

Рыбин А.В., Кузнецов И.А., Румакин В.П., Нетылько Г.И., Ломая М.П. Экспериментально-морфологические аспекты несостоятельности сухожильных ауто- и аллотрансплантатов после реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава в раннем послеоперационном периоде. *Травматология и ортопедия России*. 2016;22(4):60-75. DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75.

**Cite as:** Rybin A.V., Kuznetsov I.A., Rumakin V.P., Netylko G.I., Lomaya M.P. [Experimental and Morphological Aspects of Failed Tendon Auto- and Allografts after ACL Reconstruction in Early Postoperative Period]. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2016;22(4):60-75 (in Russ.). DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75.

Рыбин Александр Владимирович. Ул. Акад. Байкова, д. 8, Санкт-Петербург, 195427, Россия/Alexander V Rybin. 8, ul. Akad. Baykova, St. Petersburg, 195427, Russia; e-mail: bynya@list.ru

Рукопись поступила/Received: 03.10.2016. Принята в печать/Accepted for publication: 20.10.2016.

**Materials and Methods.** Experiment included two groups of rabbits, each group consisting of 9 animals. In the first group the authors performed ACL autografting by semitendinous tendon harvested from operated limb. In the second group, ACL allografting was made by foot flexor tendon harvested earlier in rabbits excluded from present or other experiments after pretreatment and sterilization in modified Belyakov's medium.

**Results.** The major cause for failure of ACL tendon grafts after reconstruction in early postoperative period is the necrosis of intraarticular portion of auto or allograft on the 15th day after the procedure. In case of overexposure of the graft in early period the authors observed rupture along intraarticular portion or - more probable - along the demarcation area (serrated line) rather than graft slipping from bone tunnel with slackening. Intra-tunnel graft portion during first several days after the procedure became surrounded by granulated tissue in contrast to intraarticular portion that remained bare of such support.

**Conclusion.** Comparative experimental and morphological study of two options of ACL reconstruction demonstrated a uniformity of alterations in dynamics with a certain delay in development of compensatory and adaptive processes after allografting. Necrosis (or homogenization) of intraarticular portion of auto or allograft is the cause for potential failure of ACL reconstruction in case of an extremely early and unjustified active rehabilitation.

**Keywords:** knee joint, anterior cruciate ligament (ACL), tendon autograft, allograft, biografting potential, necrosis of intraarticular portion of the graft.

DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-60-75.

**Competing interests:** the authors declare that they have no competing interests.

**Funding:** the authors have no support or funding to report.

## Введение

В настоящее время в артроскопической хирургии дискуссионным остается вопрос выбора трансплантата для пластики передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава. С этой целью используются ауто- и аллотрансплантаты, а также синтетические протезы ПКС [2, 15, 28]. Из аутоканей наиболее пригодными для восстановления ПКС являются средняя треть собственной связки надколенника с костными блоками, сухожилия «гусиной лапки» – полусухожильной и нежной мышц, а также часть сухожилия четырехглавой мышцы бедра с костным блоком [15, 27, 38]. В качестве аллотрансплантатов применяются консервированные различными методами трупные сухожилия [2–4, 16, 39]. Протезы связок изготавливаются из прочных синтетических материалов, таких как капрон, лавсан, перилен, дакрон, полиэстер. Несмотря на такие значительные преимущества синтетических протезов ПКС перед биологическими трансплантатами, как минимизация травмы, ранняя активизация больных, возможность осевой нагрузки и функции сразу после операции [2], им также свойственны и существенные недостатки: большая вероятность разрыва синтетического протеза по прошествии некоторого времени [20], рецидивирующие синовиты, прогрессирующий остеолит вокруг каналов в мышечках большеберцовой и бедренной костей, высокий процент инфекционных осложнений, низкая способность к трансформации, быстрое нарастание дегенеративно-дистрофических изменений в коленных суставах [18, 19]. В связи

с упомянутыми недостатками методика протезирования ПКС широкого распространения не получила.

Основными преимуществами аутопластики являются наилучшая и наиболее быстрая биологическая инкорпорация и ремоделирование трансплантата, а также отсутствие реакций биологической и иммунологической несовместимости [5–7]. К недостаткам можно отнести увеличение времени оперативного вмешательства и его травматичности, наличие донорской раны и связанных с нею осложнений.

Этих недостатков лишена аллопластика ПКС. Также к ее преимуществам можно отнести вариативность размеров и структуры аллотрансплантата – увеличение запаса прочности, уменьшение случаев послеоперационного артрофиброза, улучшение косметического результата, уменьшение времени операции, возможность произвести замену сразу нескольких связок или использовать аллотрансплантат при ревизионной операции [12, 14, 21, 26, 36].

Недостатки аллотрансплантатов заключаются в потенциальной возможности передачи инфекции, более длительном сроке приживления трансплантата и большем снижении его механических свойств, особенно в первые 6 месяцев, более выраженном остеолите костных каналов вследствие аутоиммунной реакции, увеличении стоимости операции [22, 28, 34].

Несмотря на указанные недостатки, количество выполняемых донорских реконструк-

ций ПКС в мире неуклонно увеличивается. Например, в США из 300 000 ежегодно проводимых операций около 60 000 (20%) проводятся с использованием аллотрансплантатов [25]. Это можно объяснить тем, что, по мнению ряда исследователей, в отдаленные сроки результаты ауто- и аллопластики ПКС не отличаются. Так, С.Д. Harner с соавторами в 1996 г. сравнил результаты применения ауто- и аллотрансплантатов в сроки от 3 до 5 лет и не выявил значительных различий в функциональных возможностях оперированных коленных суставов [21].

Одной из нерешенных проблем послеоперационного периода является несостоятельность трансплантата ПКС [10, 11, 24, 29–31]. Причинами рецидива нестабильности коленного сустава могут быть ошибки хирургической техники (неправильное позиционирование костных каналов, ведущее к развитию импиджмента или сохранению ротационной нестабильности, ненадежное крепление трансплантата, недостаточное или избыточное натяжение трансплантата, его неадекватные размерные характеристики), повторные травмы и чрезмерно агрессивная реабилитация, а также биологические причины [10, 11, 31]. Самой частой причиной неудач после пластики ПКС считают неправильное позиционирование каналов – до 80% случаев [30].

Биологические (морфологические) причины несостоятельности трансплантата ПКС составляют до 17% [11]. В частности, в датском регистре реконструкции ПКС этот показатель равен 11%. Считается, что на ранних сроках происходит ослабление механических свойств трансплантата вследствие частичного его некроза, дегенерации и потери коллагеновой структуры трансплантата [20]. На поздних сроках причиной несостоятельности может быть нарушение процессов лигаментизации – структурной перестройки трансплантата с обретением им свойств, подобных нативной ПКС [1, 7, 11].

Если в литературе встречаются единичные работы, посвященные морфологическому исследованию несостоятельности аутологических трансплантатов, то аналогичные исследования относительно аллотрансплантатов найти не удалось.

**Целью исследования** явился поиск морфологических причин несостоятельности свободных сухожильных ауто- и аллотрансплантатов после реконструкции ПКС коленного сустава в раннем послеоперационном периоде в эксперименте *in vivo*.

## Материал и методы

Исследование выполнено на 18 шестимесячных самках кроликов породы шиншилла весом  $3,0 \pm 0,26$  кг. Содержание и использование лабораторных животных соответствовало «Правилам проведения работ с использованием экспериментальных животных ФГБУ РНИИТО им. Р.Р. Вредена» и п. 12 «О гуманном отношении к подопытным животными» Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Все вмешательства животным проводили в условиях чистой операционной вивария ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» с соблюдением правил асептики и антисептики под внутривенным наркозом (кетамин). Профилактику инфекционных осложнений проводили цефазолином.

Первой группе (9 кроликов) экспериментальных животных выполняли аутопластику ПКС коленного сустава (ауто-группа). В качестве трансплантата использовали аутологичное сухожилие полусухожильной мышцы с оперируемой конечности.

У второй, аналогичной по численности, группы животных (алло-группа) производилась аллопластика ПКС с использованием аллосухожилий сгибателя стопы и пальцев, которые были забраны заранее у кроликов, выведенных из экспериментов в рамках этого или других исследований. Эти сухожилия предварительно подвергались обработке и стерилизации путем консервирования в модифицированной среде Белякова с контролем стерильности и соблюдением срока годности в отделении консервации трупных тканей ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена».

Под внутривенным наркозом в положении кролика на спине после обработки кожи антисептиком (Клиндезин-элит ОП ред, Германия) выполнялся срединный разрез кожи протяженностью 7 см в проекции правого коленного сустава. Рассеклись апоневроз и капсула сустава с латеральной стороны. В положении разгибания скакательной конечности кролика коленная чашечка вывихивалась в медиальную сторону, что обеспечивало визуализацию переднего отдела коленного сустава с жировым телом, межмышцелковой вырезкой, поперечной связкой менисков и крестообразными связками. При помощи остроконечного скальпеля иссекали жировое тело в переднем отделе коленного сустава и нативную ПКС, а ее остатки в местах прикрепления удаляли при помощи костной ложечки, таким образом подготавливая ложе для последующего проведения сухожильного трансплантата (рис. 1).

При выполнении вмешательства у кроликов ауто-группы из этого же доступа тупым путем выделялась полусухожильная мышца с сухожилием (рис. 2).

Сухожилие полусухожильной мышцы бра-лось на лигатуру и отсекалось от места сво-его прикрепления к медиальному мыщелку большеберцовой кости и мышечного брюшка, последнее подшивалось к внутренней груп-пе мышц бедра. После обработки аутосухо-жилия от остатков мышечной ткани на пре-паровочной базе из последнего формировался двухпучковый аутотрансплантат путем скла-дывания сухожилия вдвое с проведением в образовавшуюся петлю сдвоенной нерас-сасывающейся лигатуры Mersilene 2/0 – ли-гатуры тяги. Образовавшийся трансплантат имел длину 20–25 мм и диаметр 2,0–2,5 мм (рис. 3).



**Рис. 3.** Подготовленный аутотрансплантат  
**Fig. 3.** Prepared autograft



**Рис. 1.** Вид нативной передней крестообразной связки коленного сустава кролика  
**Fig. 1.** Native ACL of animal



**Рис. 2.** Выделенное сухожилие полусухожильной мышцы кролика  
**Fig. 2.** Semitendinous tendon of animal

Последний измерялся путем протягивания трансплантата за лигатуру тяги в отверстия с шагом 0,5 мм в титановой пластине. Концы трансплантата прошивались нерассасывающи-мися нитями Ethibond 2/0, служившими про-шивными лигатурами.

От основания медиального мыщелка боль-шеберцовой кости в место нативного больше-берцового прикрепления ПКС (анатомично) снаружи-внутри сверлом диаметром 1 мм формировали костный канал, который после оценки правильности точек входа и выхода, а также его направления, рассверливали свер-лом, по диаметру соответствующим толщине трансплантата. Аналогичной техникой фор-мировался канал в бедренной кости изнутри-наружу, причем рассверливание происходило из большеберцового канала, чем достигалось соосное взаиморасположение каналов (тран-стибиальная техника).

Для крепления трансплантата ПКС приме-нялась методика накортикальной фиксации на титановых шовных пластинах (заявка на изобретение РФ «Способ моделирования ре-конструкции передней крестообразной связки коленного сустава» № 2016116460 от 26.04.16), аналогичной системе EndoButton, используе-мой в артроскопической хирургии. По одной пластине располагалось на выходе из бед-ренного и большеберцового костных каналов. К пластинам подвязывали в состоянии натяже-ния заранее прошитый лигатурами трансплан-тат, чтобы последний не терял своего натяже-ния до его полного врастания в стенку костного канала. Для исключения проваливания пла-стины вглубь костного канала, учитывая, что диаметр последнего варьировал в пределах 2–2,5 мм, титановые пластины имели размеры 5×3×1 мм (длина, ширина и толщина соответ-ственно). Вдоль длинной оси титановой пла-

стины на равном удалении от ее центра путем просверливания формировали два отверстия по 1 мм диаметром для пропускания в них лигатур.



**Рис. 4.** Заведение трансплантата в костные каналы  
**Fig. 4.** Graft placement into the bone tunnels

С помощью лигатуры тяги аутоотрансплантат проводили в костные каналы (рис. 4) и фиксировали на внешнем кортикальном слое бедренной кости путем завязывания прошивных лигатур на шовной титановой пластине наподобие обычной пуговицы (рис. 5). Коленная чашечка вправлялась. После придания коленному суставу положения сгибания  $90^\circ$  трансплантат в состоянии натяжения фиксировали на выходе из большеберцового канала путем завязывания прошивных лигатур на такой же шовной титановой пластине.

Рана послойно ушивалась. Кожа обрабатывалась антисептиком. Внешняя иммобилизация не применялась.

При проведении операций животным аллогруппы заранее подготовленное аллосухожиле извлекалось из консервирующего раствора в стерильном пакете с последующей 5-минутной экспозицией в стерильном физиологическом растворе. Аллотрансплантат перед проведением в костные каналы готовился аналогично. Ход самой операции также был идентичен.

Всех животных выводили из опыта путем передозировки тиопентал-натрия на 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 и 90-е сутки (по одному животному на каждый срок наблюдения в каждой группе), после чего выделяли оперированный коленный сустав, содержащий сухожильный трансплантат. Вывод из эксперимента в указанные сроки был продиктован необходимостью определения наиболее значимых сроков, в которых морфологические изменения наиболее показательны.



**Рис. 5.** Фиксация трансплантата при помощи накорткальной титановой пластины/  
**Fig. 5.** Graft fixation using cortical titanium plate:

а – интраоперационная фотография/intraoperative image;

б, в – рентгенограммы правого коленного сустава кролика в прямой проекции и боковой проекциях/anterior and lateral views of right knee joint of animal

Материал фиксировали 10% нейтральным формалином в течение 24 ч. При наличии в нем кости проводили декальцинацию в насыщенном растворе трилона В и повторно фиксировали в 10% нейтральном формалине, обезвоживали в этаноле восходящей концентрации с использованием установки проводки гистологического материала Microm STP-120 (Micron Technology, США) и заливали в парафин, применяя заливочную установку Leica (Leica, Германия). Срезы толщиной 5 мкм получали с помощью санного микротомы Leica (Leica Microsystems, Германия) и окрашивали гематоксилином и эозином (Биовитрум, Россия) с использованием установки окраски «Рафаэлло» (Diapath, S.p.A., Италия). Патоморфологический анализ гистологических препаратов и фотодокументирование проводили, используя микроскоп Nikon E-50i (Nikon, Япония), объективы: 4, 10, 20 и 40 и окуляр 10 (Nikon, Япония).

## Результаты

В течение всего исследования у экспериментальных животных не было выявлено признаков воспаления в области коленных суставов. Раны у всех особей зажили первичным натяжением. При выделении макропрепаратов признаков несостоятельности трансплантата выявлено также не было (рис. 6).



**Рис. 6.** Макропрепарат оперированного коленного сустава кролика

**Fig. 6.** Gross specimen of operated knee joint of animal

На основании предварительно проведенного сравнительного анализа динамики морфологических изменений вокруг и внутри ауто- и аллосухожилия мы сделали предварительный вывод о том, что аутосухожилие по темпам биоинтеграции опережает аллоаналог. Также нами были выделены три наиболее показательных срока для более углубленного изучения биопластических процессов сухожильных ауто- и аллотрансплантатов и поиска «слабых мест», которые могли бы объяснить неудачи после пластики ПКС на раннем сроке – 1, 15 и 90-е сутки. В 1-е сутки оценивалась выраженность клеточной реакции. На 15-е сутки активно формируется рубцовая ткань FIZ (fibrous inter zone – рубцовая вставка между стенкой костного канала и трансплантатом) – именно та структура, которая прикрепляет сухожильный трансплантат к стенке костного канала. Кроме того, в этот срок происходят значимые изменения в самом трансплантате: у ауто-трансплантата некротизируется, а у аллотрансплантата полностью гомогенизируется внутрисуставная часть, что нами также было выявлено на предварительном этапе эксперимента. Наконец, 90-е сутки являются тем рубежом, когда инкорпорация сухожильного трансплантата в костный канал завершена, и продолжают процессы его гистоперестройки (лигаментизации).

Для большей наглядности при выявлении морфологических предпосылок к несостоятельности трансплантата в гистопрепаратах, полученных от животных групп сравнения, нам показалось целесообразным описывать увиденные изменения по срокам, чтобы в конкретный срок уловить различия между группами, а также определить «зоны наименьшего сопротивления», которые могут привести к ослаблению или разрыву трансплантата.

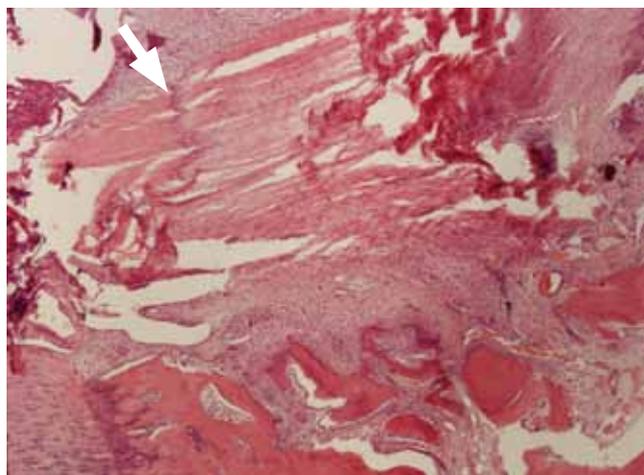
На **1-е сутки** в ауто-группе, где были использованы ауто-трансплантаты, последние на всем протяжении (внутриканальная и внутрисуставная части, а также их условная граница – зона образования будущей демаркации, так называемой зубчатой линии) сохраняли пучковое и волокнистое строение. Клеточность также была сохранена относительно нативного аутосухожилия. В костном канале на поверхности ауто-трансплантата наблюдалась слабо выраженная клеточная реакция на отдельных участках, очаговые плотные упорядоченные эритроцитарно-белковые преципитаты в виде узких полос (рис. 7). В больших пространствах между связкой и стенкой канала визуализировались серозно-эритроцитарные скопления в одном из трех препаратов (у одного из трех животных).



кости или примерно на одну толщину гиалинового суставного хряща дистальнее (проксимальнее) последнего (рис. 9). Зубчатая линия гомогенизирована, ее клеточность снижена.

FIZ между костной стенкой и аутоотрансплантатом плотно прилегала к последнему, была представлена упорядоченными пучками фибробластов на всю толщину, широкая, с высокой клеточностью (много фибробластов, единичные фиброциты), умеренно выраженной васкуляризацией и мелкоочаговой перестройкой по периферии, проникала в межбалочные пространства. Коллагеновые волокна присутствовали в умеренном количестве. Визуализировалось до трех клеток воспаления в поле зрения, т.е. воспаление было выражено слабо. В дистальном и проксимальном от суставной линии концах костных каналов началась хондральная перестройка (трансформация), что в будущем определит фиксацию аутоотрансплантата как нативной ПКС (рис. 10). Подобной динамики не наблюдалось в алло-группе (рис. 11).

Остеогенез выражен, костная капсула в стадии формирования – визуализировались ориентированные вдоль канала костные балки – костная капсула пока прерывистая. Остеобласты – в большом количестве. Наблюдалась выраженная резорбция костной стружки, которая образовалась в процессе рассверливания костного канала.

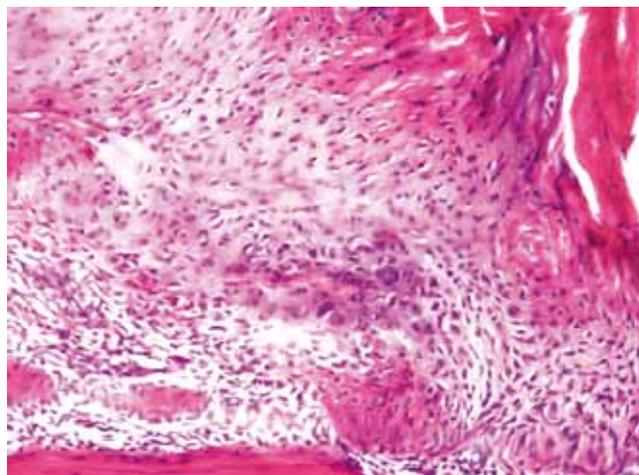


**Рис. 9.** Кролик № 22, 15-е сутки. Зубчатая линия на границе внутриканальной и внутрисуставной частей аутоотрансплантата (белая стрелка). Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×200  
**Fig. 9.** Animal No. 22, 15st day after the procedure. Serrated line on the border of intra-tunnel and intraarticular portions of autograft (white arrow). Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×200

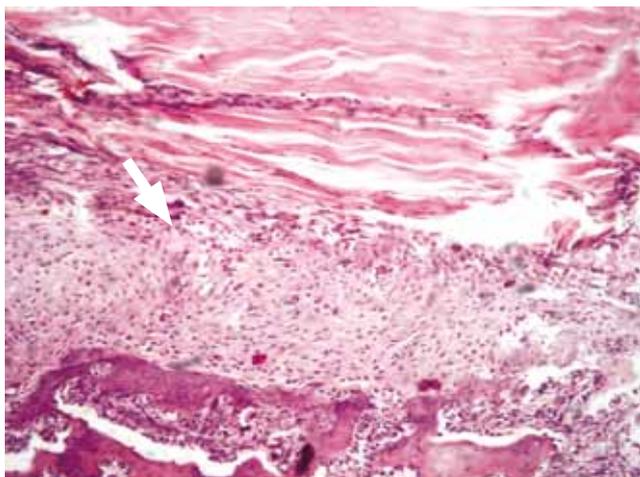
На 15-е сутки в алло-группе аллотрансплантат был бесклеточным, с очаговой гомогенизацией внутриканальной части и более массивной, вплоть до полной, гомогенизацией зоны зубчатой линии и внутрисуставной части. При этом пучковое строение страдало меньше, чем волокнистое. Внутриканальная часть сохраняла исходный рисунок интраоперационно сложенного вдвое сухожилия (рис. 12).

Интересно, что зубчатая линия – переход между обозначенными частями аллотрансплантата – находилась глубже от суставной поверхности по сравнению с аутоотрансплантатом на половину или полную толщину гиалинового суставного хряща (рис. 13).

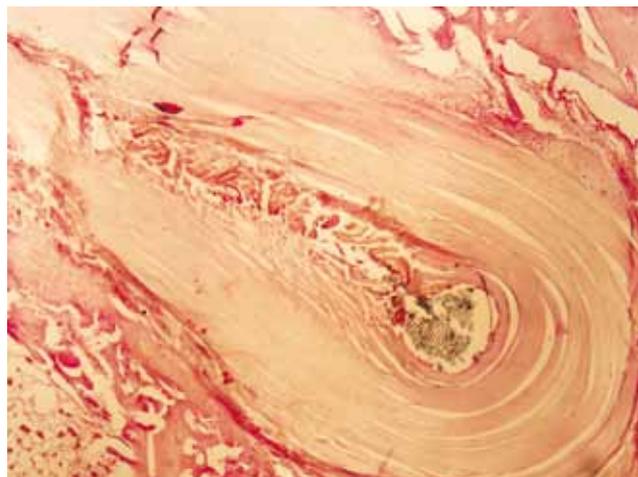
В аллопрепарате FIZ, по сравнению с аутогруппой, была более узкой, умеренно клеточной, пучки упорядоченных фибробластов пронизывали ее максимум на одну треть толщины (рис. 11). Она была сформирована не полностью, но плотно прилегала к поверхности аллотрансплантата; обнаруживались признаки вставания по щелям. Пучки коллагеновых волокон были упорядочены, шли параллельно аллосухожилию. Ближе к крупным сосудам и надкостнице FIZ была более выражена, чем в толще кости. Визуализировалось много фиброцитов и фибробластов. Можно сказать, что FIZ имела переходное состояние между грануляционной и соединительной тканями с примерным соотношением 70/30 соответственно (рис. 11).



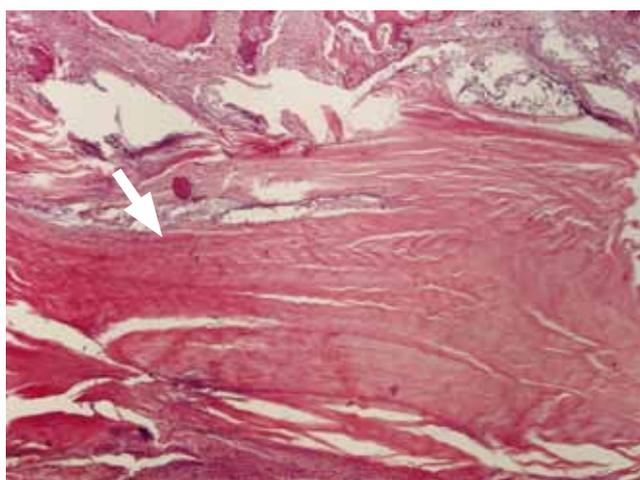
**Рис. 10.** Кролик № 22, 15-е сутки. Хондральная перестройка FIZ между аутоотрансплантатом и стенкой костного канала. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×200  
**Fig. 10.** Animal No. 22, 15st day after the procedure. Chondral remodeling in fibrous interzone (FIZ) between autograft and bone tunnel walls. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×200



**Рис. 11.** Кролик № 23, 15-е сутки. FIZ между аллотрансплантатом и стенкой костного канала. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×100  
**Fig. 11.** Animal No. 23, 15st day after the procedure. Chondral remodeling in fibrous interzone (FIZ) between allograft and bone tunnel walls. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×100



**Рис. 12.** Кролик № 26, 15-е сутки. Внутриканальная часть аллотрансплатата. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×40  
**Fig. 12.** Animal No. 26, 15th days after the procedure. Intra-tunnel portion of the allograft. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×40



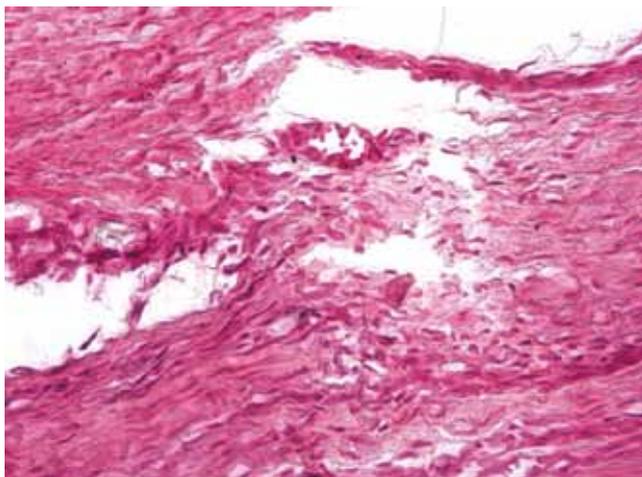
**Рис. 13.** Кролик № 23, 15-сутки. Переходная зона между внутриканальной и внутрисуставной частями аллотрансплантата (белая стрелка). Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×100  
**Fig. 13.** Animal No. 23, 15st day after the procedure. Transition area between intra-tunnel and intraarticular portions of allograft (white arrow). Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×100

В отличие от аутоаналога после аллопластики ПКС хондрогенез в костных каналах начинался от суставной поверхности (энхондральное остеобразование) – зоны роста кости (в эксперименте участвовали молодые особи в возрасте 6 мес.).

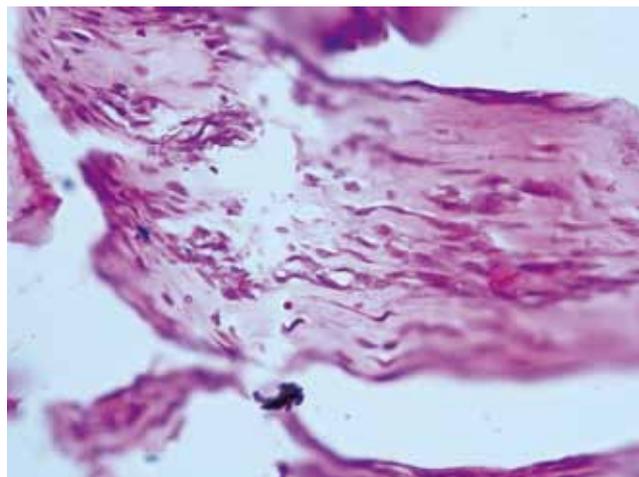
На основании сравнения двух групп можно заключить, что в обоих случаях отмечены сходные процессы, происходящие во внутрисуставной части трансплантата (некроз и гомогенизация). Вместе с тем в алло-группе задержались созревание грануляционной ткани в соединительную и формирование костной капсулы, несмотря на не менее активные процессы периферического остеобразования.

На **90-е сутки** в ауто-группе аутооттрансплантат во внутриканальной части был «живым» с высокой клеточностью (теноциты расположены упорядоченными пучками), васкуляризован, однако присутствовали большие очаги рубцового замещения с небольшими участками васкуляризации. Количество теноцитов намного превышало их число в нативном сухожилии.

В области зубчатой линии строение внутрисуставной части, по сравнению с внутриканальной, было изменено за счет разволокнения и разрозненности пучков. Отмечена васкуляризация области зубчатой линии сосудами малого калибра (типа грануляционной ткани) (рис. 14, 15).



**Рис. 14.** Кролик № 174. 90-е сутки. Вростание сосудов в зону зубчатой линии аутографта.  
Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×400  
**Fig. 14.** Animal No. 174, 90th days after the procedure. Vessels in-growth in the area of “serrated line” of autograft. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×400



**Рис. 15.** Кролик № 174. 90-е сутки. Грануляции в области зубчатой линии аутографта.  
Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×400  
**Fig. 15.** Animal No. 174, 90th days after the procedure. Hyalinosis of intraarticular portion of autograft. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×400

Внутри суставная часть трансплантата с участками хрящевой трансформации, не связанной с очагами энхондрального остеобразования (гиалиноз, «монетные столбики» хондробластов) – возможно за счет гипоксии (рис. 16). Наблюдались признаки организации внутрисуставной части трансплантата: каждый из пучков двухпучкового аутографта по периферии был полностью покрыт тонкой фиброзной капсулой; между пучками она более выражена – с очагами скопления кровеносных сосудов. Поверхность фиброзной капсулы выстлана синовиоцитами. Суставной гиалиновый хрящ по краю канала регенерировал с образованием округлого валика в просвет канала, при этом не срастаясь со связкой.

На 90-е сутки FIZ была сформирована, зрелая, с умеренной клеточностью и представляла собой узкую капсулу с четко упорядоченными коллагеновыми волокнами. Костная капсула была почти полностью сформирована и упорядочена, но между отдельными балками были просветы (рис. 17).

FIZ состояла из слоя коллагеновых волокон, прилежащих непосредственно к сухожилию, и слоя хондроцитов на границе с костной стенкой.

Морфологические находки в этой группе показывают, что инкорпорация сухожильного аутографта в стенку костного канала была фактически завершена, заканчивались процессы формирования сплошной костной стенки. Внутриканальная часть трансплантата

в основном выжила в процессе врастания, погибшие участки уже были замещены рубцом. Еще не были завершены процессы трансформации внутрисуставной части аутографта.

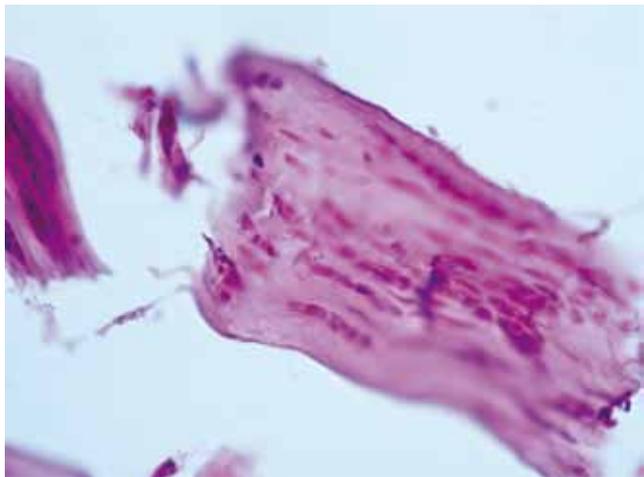
На 90-е сутки в алло-группе клеточность трансплантата была умеренной (теноциты). Внутри суставная часть трансплантата была представлена волокнистым хрящом с умеренной или высокой клеточностью, которая отличалась своей неравномерностью – с прослойками широких пучков коллагеновых волокон без клеток (рис. 18). По сравнению с ауто-группой теноциты были более крупными, с выраженной цитоплазмой (тенобласты). Вокруг внутрисуставной части аллотрансплантата также визуализировалась фиброзная капсула, но не на всем протяжении. В этой фиброзной капсуле были обнаружены сосуды, поверхность была выстлана синовиоцитами. Отмечались единичные лимфоциты и плазматические клетки (вероятно, признаки иммунного воспаления). Была видна очаговая мукоидная дегенерация внутриканальной части трансплантата с кистозной перестройкой в центре. По краям наблюдалась с высокой клеточностью упорядоченная ткань, которая плотно прилежала к костно-хрящевой стенке канала. Область зубчатой линии богата сосудами, высококлеточная – в этом месте была грануляционная ткань (рис. 19).

Обращал на себя внимание сформированный хрящевой валик на выходе из костного канала так же, как и в ауто-группе (рис. 20).

FIZ вокруг аллотрансплантата мало отличалась от таковой в ауто-группе, однако процесс образования костной мембраны до конца был не завершён – наблюдалось много остеоцитов и остеобластов, костные балки – «молодые». Также необходимо отметить, что фиброзный слой был сформирован (хотя встречались редкие очаги миксоидной трансформации) так же,

как и в ауто-группе, а хондрогенез на границе с костью носил не сплошной, а очаговый характер (рис. 21).

Сравнивая две группы, можно отметить запаздывание биопластических процессов как внутри аллотрансплантата, так и на границе с костной стенкой канала.



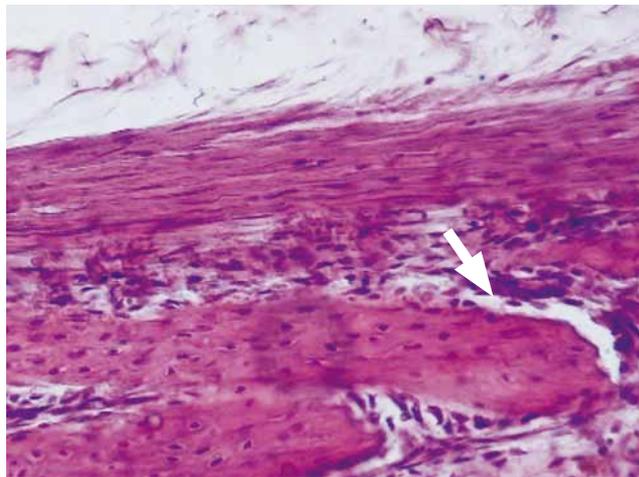
**Рис. 16.** Кролик № 174. 90-е сутки. Гиалиноз внутрисуставной части аутографта.

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×400

**Fig. 16.** Animal No. 174, 90th days after the procedure.

Hyalinosis of intraarticular portion of autograft.

Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×400



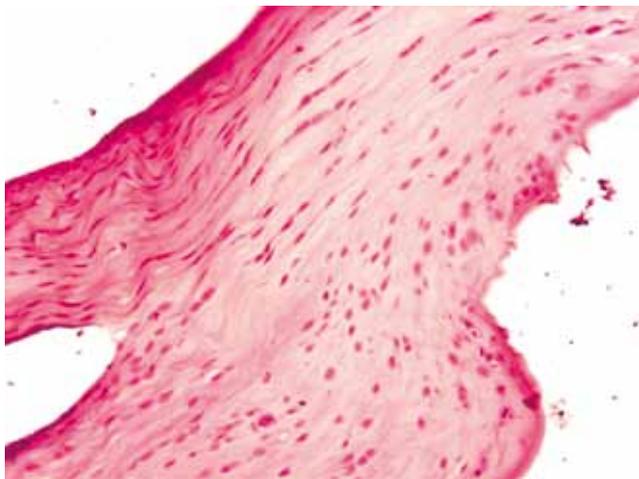
**Рис. 17.** Кролик № 3. 90-е сутки. Зона FIZ и костной капсулы вокруг аутографта (белая стрелка)

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×200

**Fig. 17.** Animal No. 3, 90th days after the procedure.

FIZ and bony capsule around the autograft (white arrow).

Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×200

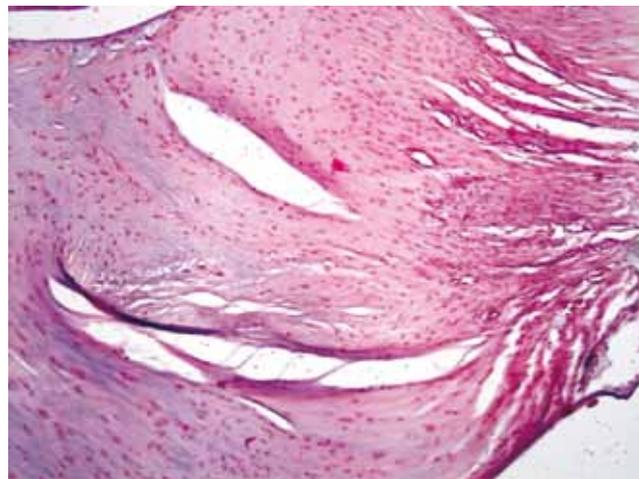


**Рис. 18.** Кролик № 176. 90-е сутки. Фиброхрящевая трансформация внутрисуставной части аллотрансплантата. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×200

**Fig. 18.** Animal No. 176, 90th days after the procedure.

Fibrocartilage remodeling of intraarticular portion of allograft. Colored by hematoxylin and eosin.

Mag. ×200



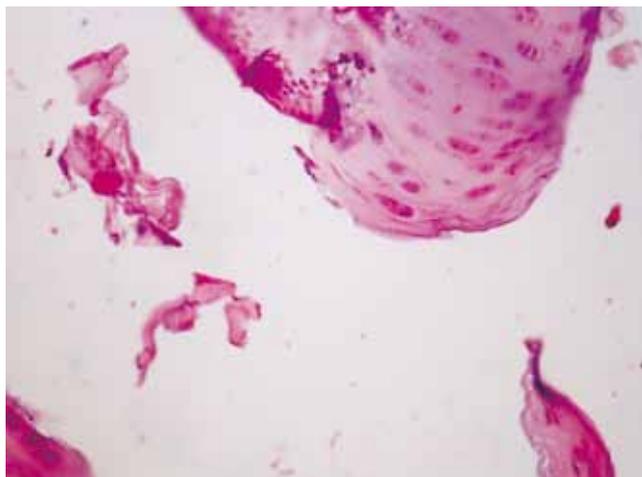
**Рис. 19.** Кролик № 176. 90-е сутки. Зона зубчатой линии аллотрансплантата. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×100

**Fig. 19.** Animal No. 176, 90th days after the procedure.

“Serrated line” area of allograft.

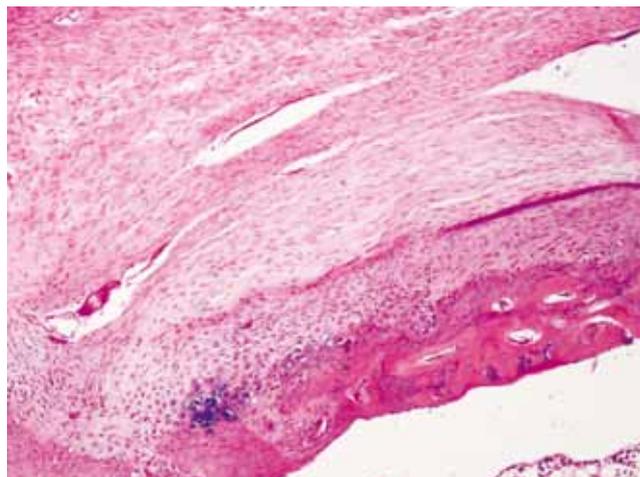
Colored by hematoxylin and eosin.

Mag. ×100



**Рис. 20.** Кролик № 174. 90-е сутки. Хрящевой валик на выходе из костного канала после аутопластики ПКС. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×200

**Fig. 20.** Animal No. 174, 90th days after the procedure. Cartilage cushion of bony tunnel after ACL autografting. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×200



**Рис. 21.** Кролик № 176. 90-е сутки. Зона FIZ и костной капсулы вокруг аллотрансплантата. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. ×100

**Fig. 21.** Animal No. 176, 90th days after the procedure. FIZ and bone capsule around the allograft. Colored by hematoxylin and eosin. Mag. ×100

## Обсуждение

Как ауто-, так и аллотрансплантаты после установки в костные каналы претерпевают сходные этапы биологической трансформации: аваскулярный некроз, клеточная репопуляция, ремоделирование коллагеновых волокон и структурирование [8]. В процессе ремоделирования наблюдается уменьшение силы натяжения трансплантата, которая в конечном итоге определяет величину переднезадней сублюксации голени [9]. Конечная сила натяжения трансплантата зависит от степени и завершенности процесса ремоделирования, в начале которого отмечается снижение механических свойств трансплантата.

Наличие некроза и гомогенизации внутрисуставной части как ауто-, так и аллотрансплантатов на 15-е сутки дает основание полагать, что в случае чрезмерного воздействия на трансплантат в ранние сроки произойдет не выскальзывание его из костных каналов с ослаблением тонуса (так как FIZ достаточно выражена в обеих группах), а разрыв на протяжении внутрисуставной части или, что еще вероятнее, по зоне демаркации (зубчатой линии).

Объяснить такое различие в «судьбе» разных участков сухожильного трансплантата достаточно просто: это продиктовано наличием или отсутствием клеточного окружения той или иной части трансплантата. Так, внутриканальная часть трансплантата в первые несколько суток уже была окружена грануляцион-

ной тканью, богатой кровеносными сосудами. Внутрисуставная часть этого лишена. Более того, она постоянно омывается синовиальной жидкостью коленного сустава – образование фиброзной капсулы вокруг сухожилия задерживается из-за выраженной фибринолитической активности суставной жидкости. С этих позиций можно объяснить расположение зубчатой линии в ауто-трансплантате ниже уровня суставного хряща на одну его толщину, так как со стороны гиалинового хряща на ранней стадии врастания грануляций не происходит. Область зубчатой линии в аллотрансплантате расположена немного глубже, что можно объяснить исходно более низким биопластическим потенциалом аллогенной ткани.

В США и развитых странах Европы для стерилизации и консервации аллосухожилий наиболее часто используется их глубокая заморозка или обработка гамма-лучами.

В ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Ю.А. Рыковым было проведено экспериментально-морфологическое исследование, показывающее влияние того или иного способа стерилизации аллотрансплантатов на изменение их биопластических свойств. Наибольшее количество вновь образованных теноцитов в сухожильных регенератах у крыс в динамике наблюдалось при стерилизации окисью этилена и антисептическим комплексом в морозоустойчивой жидкой среде, тогда как трансплантаты, стерилизованные в дегидратированном

виде гамма-лучами или пероксидом водорода, а также в слабых растворах формалина с антибиотиками подвергались более медленной перестройке [3].

### Выводы

1. Сравнительное экспериментально-морфологическое исследование двух вариантов реконструкции ПКС в динамике показало однотипность изменений с некоторой задержкой развития компенсаторно-приспособительных процессов при использовании аллотрансплантата. Еще раз подтверждена абсолютная пригодность консервированных в модифицированной среде Белякова аллосухожилий для клинического применения, особенно в случаях, когда срок возврата пациента после пластики ПКС к спорту или тяжелому труду не является определяющим фактором.

2. Именно некроз (или гомогенизация) внутрисуставной части сухожильного ауто- или аллотрансплантата определяет потенциальные неудачи после пластики ПКС при чрезмерно ранней и необоснованно агрессивной реабилитации. Поэтому перспективным направлением научных исследований может быть попытка сохранения от гибели внутрисуставной части трансплантата путем применения биостимуляторов или тканевого закрытия этой зоны. В случае доказанного отсутствия такой возможности приоритетом может стать ускорение девитализации этой части нео-ПКС.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Источник финансирования:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

### Литература

- Ахпашев А.А., Загородний Н.В., Щеголева Н.Н., Гнелица Н.Н., Королев А.В. Морфологические аспекты несостоятельности ауто-трансплантата передней крестообразной связки. *Вестник новых медицинских технологий*. 2007;XIV(4):47-49.
- Рыбин А.В., Кузнецов И.А., Нетьлько Г.И., Румакин В.П., Рыков Ю.А. Применение обогащенной тромбоцитами плазмы для стимуляции биопластических процессов после артроскопической реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2015;2:106-116.
- Рыков Ю.А. Сравнительная оценка морфологической эволюции сухожильных и костных аллотрансплантатов, заготовленных разными способами. *Травматология и ортопедия России*. 2010;(1):172-174.
- Савельев В.И., Корнилов Н.В., Иванкин Д.Е., Линник С.А. Аллотрансплантация формализированной костной ткани в травматологии и ортопедии. СПб.: МОРСАР АВ; 2001. 207 с.
- Серебряк Т.В. Артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки с использованием различных сухожильных трансплантатов: дис. канд. мед. наук. СПб.; 2012. 265 с.
- Солодов И.А. Применение сухожильных аллотрансплантатов, стерилизованных окисью этилена, для восстановления связочного аппарата коленного сустава: дис. канд. мед. наук. СПб.; 2002. 217 с.
- Amiel D., Kleiner J.B., Roux R.D. et al. The phenomenon of «ligamentization»: anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon. *J Orthop Res*. 1986;4:162-172.
- Arnoczky S.P. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop*. 1983;172:19-25.
- Beynon B.D., Johnson R.J. Relevant biomechanics. In: *Orthopaedic Sports Medicine*. Philadelphia, 1994. p. 1113-1133.
- Brown C.H., Carson E.W. Revision anterior cruciate ligament surgery. *Clin Sports Med*. 1999;18:109-171.
- Brown C.H. Revision anterior cruciate ligament surgery. [isakos.com/data/abstractpresentations/ForumI/2015-06-11/0730-SectionID1014/0730-Brown,Jr/OUTLINE\\_EVENT\\_8482\\_MEMBER\\_ID\\_1205](http://isakos.com/data/abstractpresentations/ForumI/2015-06-11/0730-SectionID1014/0730-Brown,Jr/OUTLINE_EVENT_8482_MEMBER_ID_1205).
- Caborn D.M., Selby J.B. Allograft anterior tibialis tendon with bioabsorbable interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2002;18(1):102-105.
- Claes S., Verdonk P., Forsyth R. et al. The «ligamentization» process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature. *Am J Sports Med*. 2011;39(1):2476-2483. DOI: 10.1177/0363546511402662.
- Cohen S.B., Sekiya J.K. Allograft safety in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med*. 2007;26(4):597-605. DOI:10.1016/j.csm.2007.06.003.
- Dheerendra S.K., Khan W.S., Singhal R., Shivarathre D.G., Pydisetty R., Johnstone D. Anterior cruciate ligament graft choices: a review of current concepts. *Open Orthop J*. 2012;6:281-286. DOI: 10.2174/1874325001206010281.
- Dong S., Huangfu X., Xie G., Zhang Y., Shen P., Li X., Qi J., Zhao J. Decellularized versus fresh-frozen allografts in anterior cruciate ligament reconstruction: an in vitro study in a rabbit model. *Am J Sports Med*. 2015;43(8):1924-1934. DOI: 10.1177/0363546515585314.
- Ekdahl M., Wang J.H., Ronga M., Fu F.H. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;16(10):935-947. DOI: 10.1007/s00167-008-0584-0.
- Frank C.B., Jackson D.W. The science of reconstruction of anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79(10):1556-1576.
- Fu F.H., Bennett C.H., Ma B., Menetrey J., Lattermann C. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med*. 2000;28(1):124-130.
- Gillquist J., Odensten M. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate. *Arthroscopy*. 1988;4(1):5-9.
- Harner C.D., Olson E., Irrgang J.J., Silverstein S., Fu F.H., Silbey M. Allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction: 3- to 5-year outcome. *Clin Orthop*. 1996;(324):134-144.
- Jackson D.W., Grood E.S., Goldstein J.D. et al. A comparison of patellar tendon autograft and allograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in the goat model. *Am J Sports Med*. 1993;21(2):176-185
- Janssen R.P., Scheffler S.U. Intra-articular remodeling tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(9):2102-2108. DOI: 10.1007/s00167-013-2634-5.

24. Kamath G.V., Redfern J.C., Greis P.E., Burks R.T. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):1999-2017. DOI: 10.1177/0363546510370929.
25. Kraeutler M.J., Bravman J.T., McCarty E.C. Bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft in outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of 5182 patients. *Am J Sports Med.* 2013;41(10):2439-2448. DOI: 10.1177/0363546513484127.
26. Krych A.J., Jackson J.D., Hoskin T.L., Dahm D.L. A meta-analysis of patellar tendon autograft versus patellar tendon allograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2008;24(3):292-298. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.08.029.
27. Laxdal G., Kartus J., Ejerhed L. et al. Outcome and risk factors after anterior cruciate ligament reconstruction: a follow-up study of 948 patients. *Arthroscopy.* 2005;21(8):958-964. DOI:10.1016/j.arthro.2005.05.007.
28. Macaulay A.A., Perfetti D.C., Levine W.N. Anterior cruciate ligament graft choices. *Sports Health.* 2012;4(1):63-68. DOI:10.1177/1941738111409890.
29. Magnussen R.A., Lawrence J.T., West R.L., Toth A.P., Taylor D.C., Garrett W.E. Graft size and patient age are predictors of early revision after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Arthroscopy.* 2012;28(4):526-531. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.11.024.
30. Mariscalco M.W., Flanigan D.C., Mitchell J. et al. The influence of hamstring autograft size on patient-reported outcomes and risk of revision after anterior cruciate ligament reconstruction: A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) cohort study. *Arthroscopy.* 2013;29(12):1948-1953. DOI: 10.1016/j.arthro.2013.08.025.
31. Marx R.G. Revision ACL reconstruction. Springer; 2014. 273 p.
32. Mayr H.O., Stoehr A., Dietrich M. et al. Graft-dependent differences in the ligamentization process of anterior cruciate ligament grafts in a sheep trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(5):947-956. DOI: 10.1007/s00167-011-1678-7.
33. Papalia R., Franceschi F., Vasta S. et al. Sparing the anterior cruciate ligament remnant: is it worth the hassle? *Br Med Bull.* 2012;104:91-111. DOI: 10.1093/bmb/ldr053
34. Prodromos C., Joyce B., Shi K. A meta-analysis of stability of autografts compared to allografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(7):851-856. DOI:10.1007/s00167-007-0328-6.
35. Scheffler S.U., Schmidt T., Gangéy I. et al. Fresh-frozen free-tendon allografts versus autografts in anterior cruciate ligament reconstruction: delayed remodeling and inferior mechanical function during long-term healing in sheep. *Arthroscopy.* 2008;24 (4):448-458. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.10.011.
36. Uribe J.W., Hechtman K.S., Zvijac J.E. et al. Revision anterior cruciate ligament surgery: Experiences from Miami. *Clin Orthop.* 1996;(325):91-99.
37. Vogrin M., Rupprecht M., Dinevski D. et al. Effects of a platelet gel on early graft revascularization after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized, double-blind, clinical trial. *Eur Surg Res.* 2010; 45(2):77-85. DOI: 10.1159/000318597.
38. Weiler A., Hoffmann R.F., Bail H.J., Rehm O., Sudkamp N.P. Tendon healing in a bone tunnel: part II. Histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy.* 2002;18(2):124-135.
39. Zhang C.L., Fan H.B., Xu H., Li Q.H., Guo L. Histological comparison of fate of ligamentous insertion after reconstruction of anterior cruciate ligament: autograft vs allograft. *Chin J Traumatol.* 2006;9(2):72-76.

## References

- Akhpashev A.A., Zagorodny N.V., Shchegoleva N.N., Gnelitsa N.N., Korolev A.V. [Morphological aspects of failure of ACL autograft]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2007;XIV(4): 47-49 (in Russ.).
- Rybin A.V., Kuznetsov I.A., Netylko G.I., Rumakin V.P., Rykov Yu.A. [The stimulation of bioplastic processes with platelet-rich plasma after anterior cruciate ligament arthroscopic reconstruction (review)]. *Travmatologia i Ortopedia Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2015;2:106-116 (in Russ.).
- Rykov Yu.A. [Comparative assessment of the morphological evolution of the tendon and bone allografts harvested by different methods]. *Travmatologia i Ortopedia Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2010;(1): 172-174 (in Russ.).
- Savelyev V.I., Kornilov N.V., Ivankin D.E., Linnik S.A. Allotransplantatsiya formalinizedirovannoy kostnoy tkani v travmatologii i ortopedii. [Formalinized bone allografts in traumatology and orthopedics]. SPb.: MORSAR AB; 2001. 207 p. (in Russ.).
- Serebryak T.V. Artroskopicheskaya rekonstruktsiya peredney krestoobraznoy svyazki s ispol'zovaniyem razlichnykh sukhozhil'nykh transplantatov [Arthroscopic reconstruction of anterior cruciate ligament with different tendon grafts]: dis. kand. med. nauk [cand. med. sci. diss.]. SPb.; 2012. 265 p. (in Russ.).
- Solodov I.A. Primeneniye sukhozhil'nykh allotransplantatov, sterilizovannykh okis'yu etilena, dlya vosstanovleniya svyazochnogo apparata kolennogo sustava [Knee ligaments reconstruction with ethylene oxide-sterilized tendon allografts]: dis. kand. med. nauk. [cand. med. sci. diss.] SPb.; 2002. 217 p. (in Russ.).
- Amiel D., Kleiner JB, Roux RD et al. The phenomenon of «ligamentization»: anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon. *J Orthop Res.* 1986;4:162-172.
- Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop.* 1983;172:19-25.
- Beynon BD, Johnson RJ. Relevant biomechanics. In: Orthopaedic Sports Medicine. Philadelphia, 1994. p. 1113-1133.
- Brown CH, Carson E.W. Revision anterior cruciate ligament surgery. *Clin Sports Med.* 1999;18:109-171.
- Brown C.H. Revision anterior cruciate ligament surgery. isakos.com/data/abstractpresentations/ForumI/2015-06-11/0730-SectionID1014/0730-Brown,Jr/OUTLINE\_EVENT\_8482\_MEMBER\_ID\_1205.
- Caborn DM, Selby JB. Allograft anterior tibialis tendon with bioabsorbable interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2002;18(1):102-105.
- Claes S, Verdonk P, Forsyth R et al. The «ligamentization» process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):2476-2483. DOI: 10.1177/0363546511402662.
- Cohen SB, Sekiya JK. Allograft safety in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2007;26(4): 597-605. DOI:10.1016/j.csm.2007.06.003.

15. Dheerendra SK, Khan WS, Singhal R, Shivarathre DG, Pydisetty R, Johnstone D. Anterior cruciate ligament graft choices: a review of current concepts. *Open Orthop J*. 2012;6:281-286. DOI: 10.2174/1874325001206010281.
16. Dong S, Huangfu X, Xie G, Zhang Y, Shen P, Li X, Qi J, Zhao J. Decellularized versus fresh-frozen allografts in anterior cruciate ligament reconstruction: an in vitro study in a rabbit model. *Am J Sports Med*. 2015;43(8):1924-1934. DOI: 10.1177/0363546515585314.
17. Ekdahl M, Wang JH, Ronga M, Fu FH. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;16(10):935-947. DOI: 10.1007/s00167-008-0584-0.
18. Frank CB, Jackson DW. The science of reconstruction of anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79(10):1556-1576.
19. Fu FH, Bennett CH, Ma B, Menetrey J, Lattermann C. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med*. 2000;28(1):124-130.
20. Gillquist J, Odensten M. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate. *Arthroscopy*. 1988;4(1):5-9.
21. Harner CD, Olson E, Irrgang JJ, Silverstein S, Fu FH, Silbey M. Allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction: 3- to 5-year outcome. *Clin Orthop*. 1996;(324):134-144.
22. Jackson DW, Grood ES, Goldstein JD et al. A comparison of patellar tendon autograft and allograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in the goat model. *Am J Sports Med*. 1993;21(2):176-185.
23. Janssen RP, Scheffler SU. Intra-articular remodeling tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(9):2102-2108. DOI: 10.1007/s00167-013-2634-5.
24. Kamath GV, Redfern JC, Greis PE, Burks RT. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2011;39(1):1999-2017. DOI: 10.1177/0363546510370929.
25. Kraeutler MJ, Bravman JT, McCarty EC. Bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft in outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of 5182 patients. *Am J Sports Med*. 2013;41(10):2439-2448. DOI: 10.1177/0363546513484127.
26. Krych AJ, Jackson JD, Hoskin TL, Dahm DL. A meta-analysis of patellar tendon autograft versus patellar tendon allograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2008;24(3):292-298. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.08.029.
27. Laxdal G, Kartus J, Ejerhed L et al. Outcome and risk factors after anterior cruciate ligament reconstruction: a follow-up study of 948 patients. *Arthroscopy*. 2005;21(8):958-964. DOI:10.1016/j.arthro.2005.05.007.
28. Macaulay AA, Perfetti DC, Levine WN. Anterior cruciate ligament graft choices. *Sports Health*. 2012;4(1):63-68. DOI:10.1177/1941738111409890.
29. Magnussen RA, Lawrence JT, West RL, Toth AP, Taylor DC, Garrett WE. Graft size and patient age are predictors of early revision after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Arthroscopy*. 2012;28(4):526-531. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.11.024.
30. Mariscalco M.W., Flanigan D.C., Mitchell J. et al. The influence of hamstring autograft size on patient-reported outcomes and risk of revision after anterior cruciate ligament reconstruction: A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) cohort study. *Arthroscopy*. 2013;29(12):1948-1953. DOI: 10.1016/j.arthro.2013.08.025.
31. Marx RG. Revision ACL reconstruction. Springer; 2014. 273 p.
32. Mayr HO, Stoehr A, Dietrich M et al. Graft-dependent differences in the ligamentization process of anterior cruciate ligament grafts in a sheep trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(5):947-956. DOI: 10.1007/s00167-011-1678-7.
33. Papalia R, Franceschi F, Vasta S et al. Sparing the anterior cruciate ligament remnant: is it worth the hassle? *Br Med Bull*. 2012;104:91-111. DOI: 10.1093/bmb/ldr053.
34. Prodromos C, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of stability of autografts compared to allografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15(7):851-856. DOI:10.1007/s00167-007-0328-6.
35. Scheffler SU, Schmidt T, Gangéy I et al. Fresh-frozen free-tendon allografts versus autografts in anterior cruciate ligament reconstruction: delayed remodeling and inferior mechanical function during long-term healing in sheep. *Arthroscopy*. 2008;24(4):448-458. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.10.011.
36. Uribe JW, Hechtman KS, Zvijac JE et al. Revision anterior cruciate ligament surgery: Experiences from Miami. *Clin Orthop*. 1996;(325):91-99.
37. Vogrin M, Ruprecht M, Dinevski D et al. Effects of a platelet gel on early graft revascularization after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized, double-blind, clinical trial. *Eur Surg Res*. 2010; 45(2):77-85. DOI: 10.1159/000318597.
38. Weiler A, Hoffmann RE, Bail HJ, Rehm O, Sudkamp NP. Tendon healing in a bone tunnel: part II. Histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy*. 2002;18(2):124-135.
39. Zhang CL, Fan HB, Xu H, Li QH, Guo L. Histological comparison of fate of ligamentous insertion after reconstruction of anterior cruciate ligament: autograft vs allograft. *Chin J Traumatol*. 2006;9(2):72-76.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Рыбин Александр Владимирович* – канд. мед. наук младший научный сотрудник отделения спортивной травматологии и реабилитации ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

*Кузнецов Игорь Александрович* – д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением спортивной травматологии и реабилитации ФГБУ «Российский научно-иссле-

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

*Alexander V. Rybin* – Cand. Sci. (Med) Researcher of Scientific Department of Sports Traumatology and Rehabilitation, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics

*Igor A. Kuznetsov* – Dr. Sci. (Med) Professor, Head of Scientific Department of Sports Traumatology and Rehabilitation, Vreden Russian Research Institute of

довательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; профессор кафедры травматологии и ортопедии ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России

*Румакин Василий Петрович* – канд. мед. наук заведующий патологоанатомическим отделением ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

*Нетьлюк Георгий Иванович* – д-р мед. наук заведующий научным экспериментально-морфологическим отделением ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

*Ломая Мамия Паликович* – канд. мед. наук заведующий травматолого-ортопедическим отделением ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

Traumatology and Orthopedics; Professor of Department of Traumatology and Orthopedics, Mechnikov Northwestern State Medical University

*Vasiliy P. Rumakin* – Cand. Sci. (Med) Head of Patoloanatomic Department, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics

*Georgy I. Netylko* – Dr. Sci. (Med) Head of Scientific Department of Experimental Morphology, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics

*Mamiya P. Lomaya* – Cand. Sci. (Med) Head Trauma and Orthopedic Department, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ: ОСМЫСЛЕНИЕ ПЕРВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Научно-практическая конференция с международным участием

Дата проведения: 17 февраля 2017 года

Место проведения конференции:

Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8

**Организаторы конференции:**

ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России (Санкт-Петербург)

ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России (Нижний Новгород)

«Ассоциация специалистов по 3D-печати в медицине» (Нижний Новгород)

**Предварительная программа:**

- Технологии 3D-визуализации и прототипирования
- Возможности аддитивных технологий в травматологии и ортопедии
- Хирургические особенности при использовании «custom-made implants»
- Первые результаты прототипирования при артропластике

По вопросам научной программы обращаться к Ученому секретарю РНИИТО

им. Р.Р. Вредена Денисову Алексею Олеговичу

+7(965) 0733881, e-mail: med-03@yandex.ru

**Сервис-партнер:**

Маничев Андрей Леонидович

+7(812) 3863831, e-mail: info@altaastra.com