

Оптимизация размещения трансплантата из связки надколенника при реконструкции передней крестообразной связки

П.А. Трачук, А.П. Трачук, О.Е. Богопольский

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург

Optimizing position of patellar tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction

P. Trachuk, A. Trachuk, O. Bogopolskiy

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg

© Коллектив авторов, 2025 г.

Резюме

Введение. Трансплантат передней крестообразной связки (ПКС) может занимать неоптимальное положение даже в правильно выполненных туннелях, что является одной из причин остаточной нестабильности.

Цель: изучить возможность и оценить эффективность улучшения позиции трансплантата непосредственно в местах прикрепления ПКС. **Материалы и методы.** Проспективное исследование 30 пациентов, разделенных на две равные группы, которым выполняли двухдоступную пластику ПКС трансплантатом из средней трети связки надколенника. В I группе применяли традиционную технику, во II — дополнительно создавали контакт трансплантата с медиальным краем апертуры большеберцового туннеля с помощью вклинения кортикального фрагмента из переднего края большеберцовой кости. На операции измеряли длину трансплантата, туннелей и межсуставную дистанцию, на следующие сутки выполняли рентгенографию и КТ, повторно КТ через 6 мес, МРТ через 12 мес, клиническое обследование — через 23,5 мес ($Q_1=18$; $Q_3=25$). **Результаты.** Ось трансплантата в первой группе была ближе к вертикальной, отклонение от нормы составило $M=6,2^\circ$; $SD=1,8$ в прямой проекции и $M=6,7^\circ$; $SD=2,1$ — в боковой. Во второй — отличие

наклона оси в прямой проекции было минимальным ($M=0,7^\circ$; $SD=0,4$) и в боковой — в пределах 2° ($M=2,1^\circ$; $SD=0,6$), различия между группами были достоверны ($p<0,05$). Положение туннелей, костных блоков трансплантата и дополнительного фрагмента оставалось стабильным, к 6 мес наблюдали сращение. Во II группе апертура большеберцового туннеля с прилежащим к медиальному краю трансплантатом имела С-образную анатомическую форму. У всех пациентов амплитуда движений была нормальной. В I группе скользящий «пивот-шифт» тест наблюдали у 6, явный — у 1, во II группе скользящий — у 1 пациента ($p=0,045$). **Заключение.** Создание точек опоры и прочная фиксация трансплантата из связки надколенника в местах прикрепления ПКС способствует улучшению анатомо-функциональных результатов лечения пациентов.

Ключевые слова: передняя крестообразная связка, трансплантат из связки надколенника, анатомическая пластика, туннели

Summary

Background. ACL graft may take a non-optimal position even in correctly drilled tunnels, being one of the possible causes of residual instability. **Aim:** to study the possibility and evaluate the efficiency of the graft

position improvement directly in the ACL footprints. **Material and methods.** Prospective study of 30 patients, divided in 2 equal groups, who have undergone two-incised ACL reconstruction with BTB autograft. The first group of patients received traditional surgical technique, while in the second group a cortical bony fragment from anterior tibial margin was fixed to graft to create tight contact with medial margin of tibial aperture. Graft and tunnels length parameters, interarticular distance were measured intraoperatively. Postoperative radiographs and CT, 6 months follow-up CT, and 12 months follow-up MRI were performed. Median follow-up with IKDC score was 23.5 months ($Q_1=18$; $Q_3=25$). **Results.** Graft axis in the first study group was more vertically with mean deviation from native ACL axis $6,2^\circ$ ($SD=1.8$) in anteroposterior view, and $6,7^\circ$ ($SD=2.1$) in lateral view. In the second group ax-es difference was minimal in both anteroposterior

view ($M=0,7^\circ$; $SD=0.4$) and lateral view ($M=2,1^\circ$; $SD=0,6$). Intergroup differences were statistically significant ($p<0,05$). Tunnels, graft bone blocks and additional bony fragment position remained unchanged; bone healing was observed in 6 months. In the second group tibial tunnel aperture with graft lying next to medial wall had anatomical "C"-shape. Patients in both study groups had normal range of motion. There were 6 patients with "glide" and 1 with "clunk" positive pivot-shift tests in the first study group, and only one with "glide" test in the second study group ($p=0.045$). **Conclusion.** Creation of fulcrums for patellar tendon graft and its firm fixation at the ACL attachment sites promotes better anatomical and functional treatment outcomes.

Keywords: anterior cruciate ligament, patellar tendon graft, anatomic reconstruction, tunnels

Введение

Хирургическое лечение пациентов с повреждением ПКС имеет целью восстановить функциональную стабильность и нормальную подвижность травмированного коленного сустава. Необходимым условием эффективной реконструкции ПКС хирурги считают размещение и надежное приживление трансплантата в анатомических местах прикрепления [1, 2].

Анатомические исследования показывают, что ПКС является единой лентообразной соединительнотканной структурой [3–5]. Места прямого, то есть посредством организованных фиброзно-хрящевых слоев, прикрепления ПКС несут основную нагрузку и занимают довольно узкие полосы непосредственно позади от латерального межмышечкового гребня на бедре и снаружи от медиального межмышечкового гребня на плато большеберцовой кости [6–8]. Размещение и приживление трансплантата именно в этих зонах является условием для его нормального функционирования и, по-видимому, должно быть целью действительно анатомической реконструкции ПКС.

Принято полагать анатомически правильной такую реконструкцию ПКС, при которой туннели будут сформированы в центрах прикрепления связки, и трансплантат будет занимать не менее 50–80% от общей площади волокон [3]. В то же время известно, что возникающие при натяжении сухожильного трансплантата силы могут сдвигать его к передне-нижнему краю бедренного [9, 10] и к заднелатеральному краю — большеберцового туннеля [11]. При движениях в коленном суставе циклическое давление трансплантата на стенки туннелей дополняется эффектами ротации, продольной и поперечной подвижности, что может стать механической причиной

неполного (до 70% на бедре) заполнения туннелей [12], их расширения и, как следствие, приводить к нарушению полноценного сращения сухожилия с костью [13–15].

Современные тренды анатомической реконструкции ПКС заключаются в размещении сухожильных, желательно более массивных, трансплантатов в цилиндрических костных туннелях, а также применения (в случаях выраженной нестабильности и при рецидивах) дополнительной латеральной экстраартикулярной пластики [1, 16, 17]. Под действием сил натяжения не приживший трансплантат может принимать в туннеле отличную от ПКС вертикально ориентированную позицию [18]. Приобретенное неоптимальное положение трансплантата может стать одной из причин сохранения после операции у значимой доли пациентов объективных признаков остаточной нестабильности [19]. Так, данные недавнего систематического обзора показали, что у 14% пациентов после первичной анатомической реконструкции ПКС определяли явный «pivot-шифт» тест. У пациентов, которым дополнительно выполняли латеральную экстраартикулярную пластику, частота остаточной разболтанности сустава снижалась, но лишь до 6% [20].

Трансплантат из средней трети связки надколенника с костными блоками наиболее близок по строению к природной ПКС. Однако поскольку связка надколенника обычно длиннее ПКС, то связочно-костные соединения трансплантата будут располагаться в глубине костных туннелей. Несоответствие размеров плоской порции трансплантата и диаметра апертур туннелей является одной из причин раскачивания трансплантата и препятствует полноценному приживлению в месте прикрепления ПКС. Опубликованные в 2020 г. результаты опроса 260 хирургов-ортопедов США —

экспертов в области спортивной медицины, показали, что консенсус в методах устранения данной проблемы еще не достигнут. Большинство опрошенных хирургов предлагали продвигать проксимальный костный блок в глубину бедренного туннеля. Около половины респондентов укорачивали трансплантат за счет ротации его вокруг продольной оси или просто отсекали выступающую часть большеберцового блока. Менее 5% хирургов применяли технику свободного костного блока и подшивали дистальный костный блок к связке [21].

Хирурги, которые использовали трансплантат из связки надколенника и размещали его в прямоугольных туннелях, наблюдали у большинства пациентов отличные ближайшие анатомо-функциональные результаты. Тем не менее при осмотрах через 2 и более лет после операции те же авторы выявляли у 5–8% пациентов положительный «пивот-шифт» тест [22, 23]. Выполненные КТ-исследования показали, что через 6 мес после реконструкции ПКС апертуры прямоугольных туннелей заметно расширились. Причем расширение входов в туннели возникало преимущественно в направлении давления связочной части трансплантата на костный край, то есть дистально — на бедре и заднелатерально — на большеберцовой кости [24]. Степень расширения прямо зависела от глубины расположения костного блока, то есть от длины связочной части трансплантата внутри туннеля. Так, в условиях подвешивающей фиксации трансплантата при глубине залегания костного блока 2,8 мм от апертуры, наблю-

дали расширение входа в бедренный туннель до 15%, а при дистанции 6 мм — до 50% [25].

Таким образом, вопросы совершенствования реконструкции ПКС остаются актуальными и, по-видимому, должны отражать не только улучшение техник адекватного формирования костных туннелей, но и создание условий для максимально возможного восстановления точек опоры трансплантата непосредственно в местах прямого прикрепления ПКС.

Цель исследования

Изучить возможность и оценить эффективность размещения и фиксации трансплантата непосредственно в местах прикрепления ПКС.

Материалы и методы исследования

Проведено проспективное исследование 30 пациентов, которым в период с октября 2022 по январь 2024 г. была выполнена анатомическая двухдоступная (то есть посредством независимого рассверливания туннелей снаружи внутрь) аутопластика ПКС трансплантатом из средней трети связки надколенника и с интерферентной фиксацией. Среди них было 23 мужчины и 7 женщин; средний возраст составил 31 год ($M=30,6$; $SD=6,9$); срок наблюдения — от 12 до 27 мес, медиана — 23,5 ($Q1=18$; $Q3=25$).

Критерии включения: 1) возраст от 18 до 45 лет; 2) отсутствие признаков артроза; 3) одинаковая

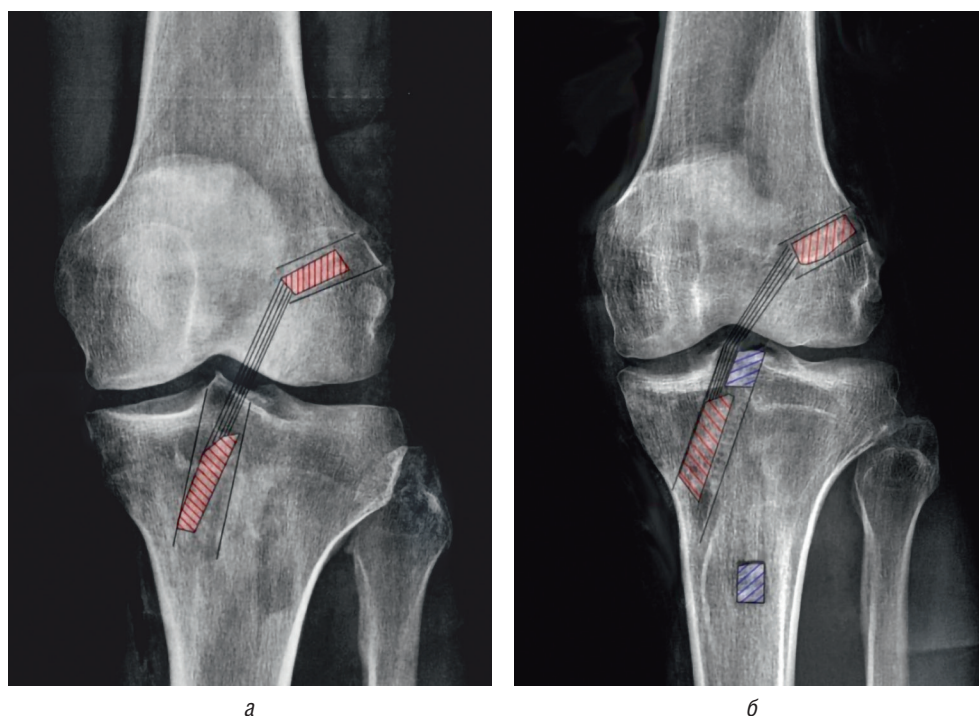


Рис. 1. Схема размещения трансплантата передней крестообразной связки из связки надколенника при двухдоступной реконструкции у пациентов I (а) и II (б) групп

программа реабилитации; 4) согласие и доступность пациентов для очного обследования.

Критерии невключения: 1) наличие у пациентов сопутствующих заболеваний и повреждений, которые могли бы повлиять на тактику лечения; 2) наличие повреждений других связок и внутренних структур, по поводу которых выполняли реконструктивные оперативные вмешательства (шов или пластика связок, шов мениска, хондропластика).

Пациенты были разделены с помощью блоковой рандомизации на две равные группы. В I группу вошли 15 пациентов, у которых применяли традиционную технику операции. Во II группу — пациенты, которым в ходе операции дополнительно создавали плотный контакт связочной части трансплантата с медиальной стенкой внутрисуставной апертуры большеберцового туннеля за счет вклинения в туннель необходимого по величине фрагмента из дистальной части бугристости (переднего края) большеберцовой кости (рис. 1).

Хирургическая техника. Всем пациентам выполняли артроскопическую пластику ПКС с независимым формированием цилиндрических костных туннелей. Разметку центра туннелей проводили путем измерений с учетом анатомических ориентиров, а именно задневерхнего края хряща — на бедре, медиального межмыщелкового гребня и переднего края культи ПКС — на голени. Полоску трансплантата из средней трети связки надколенника шириной 10–12 мм выкраивали из продольного разреза. Длина костного блока из надколенника составляла 20 мм, из бугристости большеберцовой кости — 30 мм. Туннели рассверливали снаружи вовнутрь по ориентирующим спицам, которые проводили из отдельных разрезов. На направителе устанавливали угол 40–45° — для бедренного туннеля и 60–65° — для большеберцового туннеля. Проксимальный костный блок ориентировали губчатым слоем к передней стенке бедренного туннеля и продвигали его из большеберцового туннеля через полость сустава в бедренный туннель до тех пор, пока костно-связочное соединение не оказывалось у края апертуры туннеля. Дистальный костный блок разворачивали кнаружи примерно на 90° и ориентировали губчатым слоем к латеральной стенке туннеля. Поддерживая натяжение нитей постоянным, удерживали трансплантат в установленной позиции и выполняли интерферентную фиксацию бедренного костного блока (между стенкой туннеля и губчатой поверхностью блока) винтом размером 8×20 мм. Глубину погружения винта контролировали визуально в просвете туннеля с помощью артроскопа. Затем в положении разгибания голени трансплантат натягивали и фиксировали в большеберцовом туннеле винтом размером 9×25 или 9×30 мм. Донорские костные дефекты заполняли аутокостью, полученной при обработке костных концов трансплантата, рассверли-

вания костных туннелей и со дна дефекта бугристости. Связочные дефекты и операционные раны послойно сшивали рассасывающейся нитью.

В ходе операции с помощью линейки измеряли длину костных блоков и связочной части трансплантата. После рассверливания туннелей измеряли их длину и внутрисуставную межтуннельную дистанцию. Для этого через туннели и полость сустава сверху вниз протаскивали петлю из лески. На дистальный конец петли накладывали зажим Бильерта, нити натягивали в положении 90° сгибания в коленном суставе и фиксировали их в зажиме над входом в бедренный туннель. Далее с помощью артроскопических ножниц пересекали одну нить на уровне заднего края внутрисуставной апертуры бедренного туннеля, а вторую нить — на уровне латерального края апертуры большеберцового туннеля. В каждом зажиме оказывались две нити — короткая и длинная: длина проксимальной короткой нити соответствовала длине бедренного туннеля, разница между проксимальными нитями — межтуннельной дистанции, длина дистальной короткой нити — длине большеберцового туннеля. Из длины связочной части трансплантата вычитали межтуннельную дистанцию и определяли длину не заполненной костным блоком проксимальной части большеберцового туннеля. Затем из длины бедренного туннеля вычитали длину костного блока трансплантата и определяли длину не заполненной костью части бедренного туннеля. У пациентов II группы определяли необходимую длину костного фрагмента для уплотнения и оптимизации размещения связочной части трансплантата в большеберцовом туннеле.

Известно, что при разгибании голени внутрисуставная длина трансплантата (в соответствии с биомеханическим поведением ПКС) может увеличиться на 2–4 мм. И поэтому, чтобы край костного фрагмента заведомо не выстоял в полость сустава, он должен был быть короче длины проксимальной части большеберцового туннеля на 4 мм. Фрагмент выбранной длины и толщиной 5–6 мм забирали с помощью долота из дистальной части бугристости большеберцовой кости. В центре фрагмента спицей просверливали одно-два

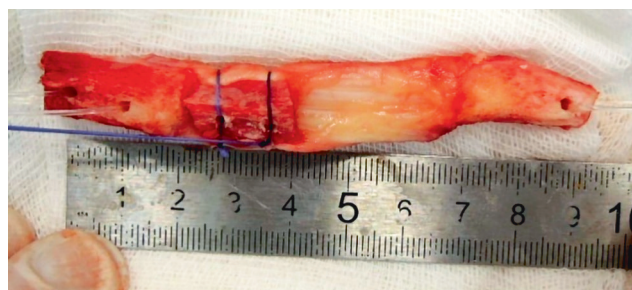


Рис. 2. Подготовленный трансплантат из связки надколенника для пластики передней крестообразной связки у пациентов II группы: виден фиксированный нитями дополнительный костный фрагмент

отверстия, через которые проводили рассасывающиеся нити № 2-0. Фрагмент укладывали надкостничной поверхностью на полосу трансплантата у края дистального костного блока и фиксировали швами (рис. 2). Зная длину наружной, не заполненной костью части бедренного туннеля, в процессе установки трансплантата можно было скорректировать глубину залегания проксимального костного блока трансплантата. Поддерживая натяжение нитей постоянным, удерживали

трансплантат в установленной позиции и выполняли интерферентную фиксацию костных блоков таким же образом, как было изложено выше.

У пациентов обеих групп программа реабилитации была одинаковой и предусматривала кратковременную (до 4–5 дней) иммобилизацию выпрямленной нижней конечности в съемном тугоре, мануальную мобилизацию надколенника, раннее восстановление подвижности коленного сустава и ходьбы.

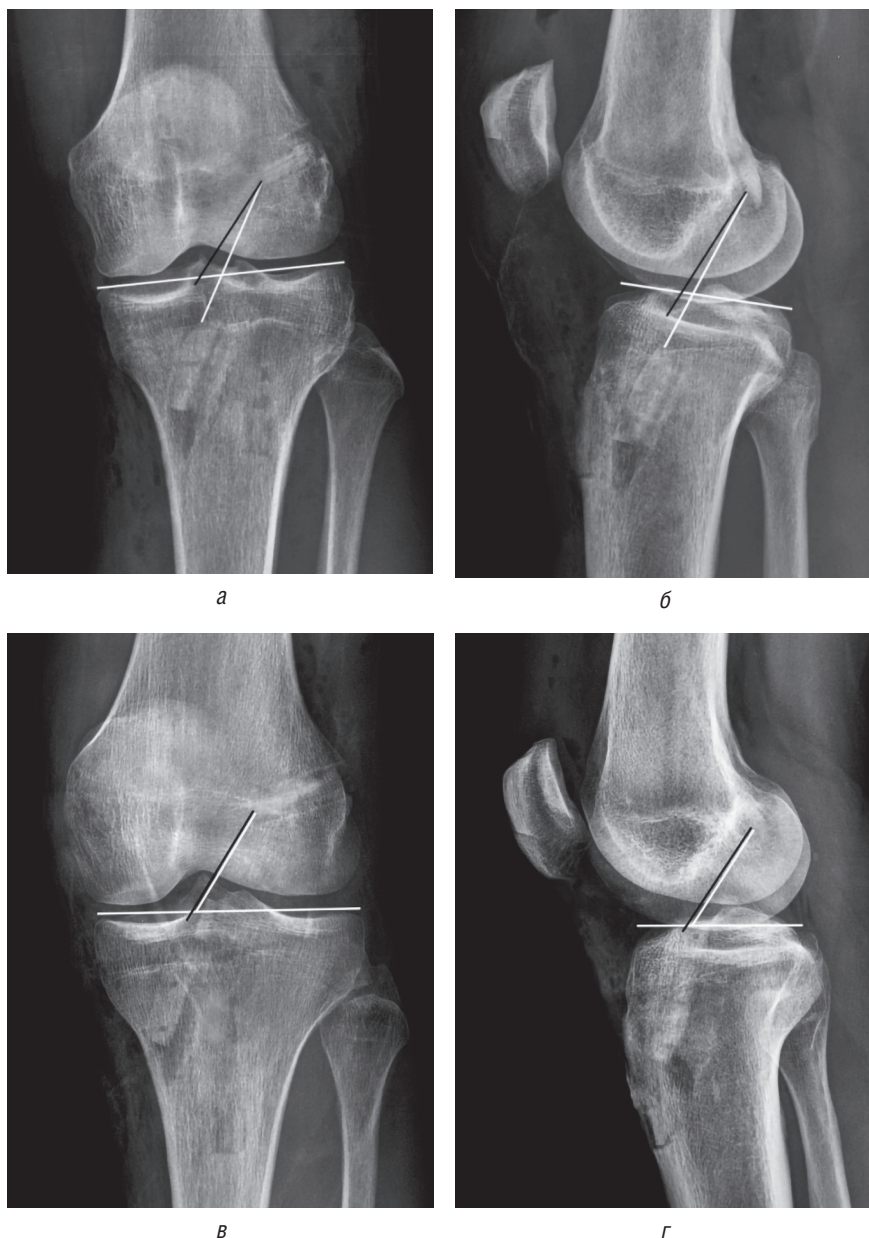
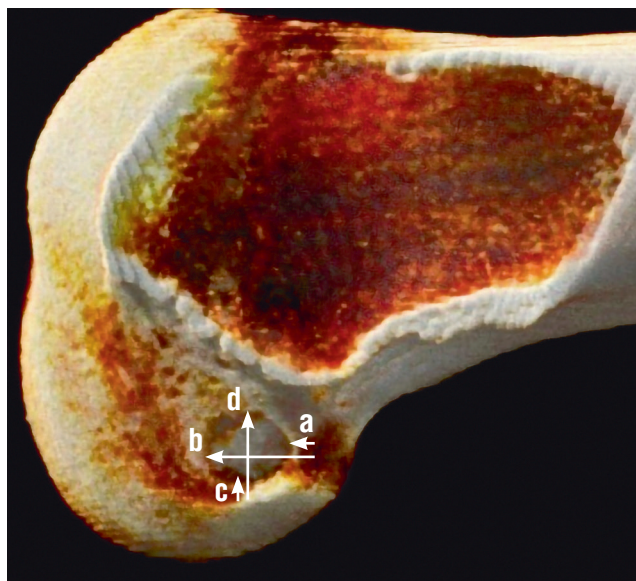


Рис. 3. Послеоперационные рентгенограммы левого коленного сустава у пациентов I (а, б) и II группы (в, г): видны костные блоки в туннелях, заполненные костью донорские дефекты надколенника и бугристости. Измерение угла наклона оси нативной ПКС и трансплантата относительно плато медиального мыщелка большеберцовой кости. Для построения углов проводили перекрещивающиеся линии: горизонтальную — по касательной к плато медиального мыщелка большеберцовой кости, черную косую — между центром бедренного туннеля и переднемедиальным краем апертуры большеберцового туннеля (соответственно местам прямого прикрепления переднемедиального пучка передней крестообразной связки), белую косую — между местами костно-связочных соединений трансплантата

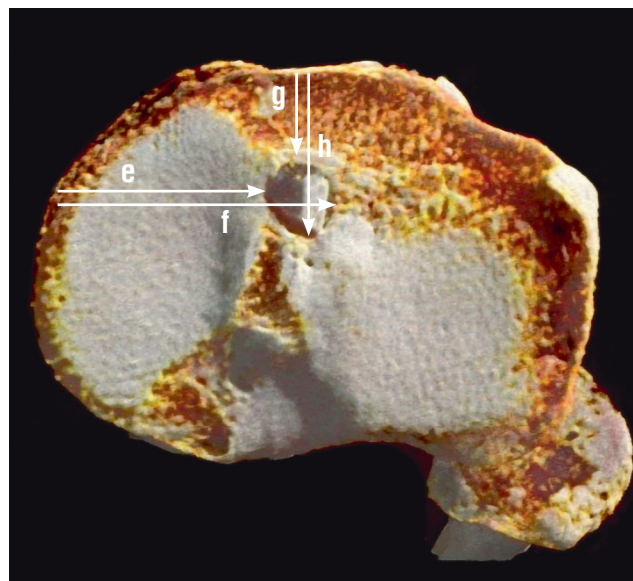
Всем пациентам проводили: МРТ перед операцией, рентгенографию и КТ на следующий день после операции; КТ через 6 мес, МРТ через 12 мес, клиническое обследование в соответствии с объективной частью шкалы IKDC в конце срока наблюдения.

В ходе предоперационного обследования по МРТ определяли длину связки надколенника, для чего на срезе в сагиттальной плоскости, на котором длина связ-

ки была минимальной, измеряли длину линии, проведенной вдоль заднего контура связки. В последующем полученные величины сравнивали с показателями интраоперационных измерений. По послеоперационным рентгенограммам в прямой и боковой проекции измеряли угол наклона оси природной ПКС относительно плато большеберцовой кости и сравнивали с углом наклона трансплантата ПКС (рис. 3). При изучении КТ



а

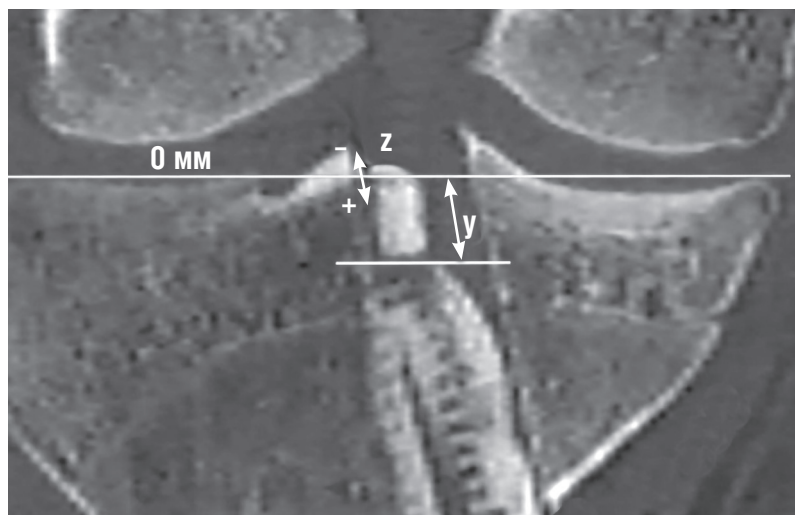


б

Рис. 4. Измерение размеров внутрисуставной апертуры бедренного туннеля (а), где а — расстояние от задневерхнего края хряща латерального мыщелка бедра до верхней стенки и b — до нижней стенки апертуры; c — от заднего края хряща до задней стенки и d — до передней стенки апертуры. Измерение размеров апертуры большеберцового туннеля (б), где e — расстояние от медиального края тибального плато до медиальной стенки; f — до латеральной стенки апертуры; g — от переднего края плато до передней стенки и h — до задней стенки апертуры



а



б

Рис. 5. Измерение дистанции от апертуры туннеля до костно-связочного соединения трансплантата на КТ-реконструкции продольной оси бедренного (а) и большеберцового (б) туннелей. Уровень апертур туннелей приняли за 0, выступание в полость сустава обозначили отрицательным значением, символом x — дистанцию до костного блока в бедренном туннеле, y — до дополнительного костного фрагмента и z — до костного блока в большеберцовом туннеле

в динамике оценивали изменения размеров внутри-суставных апертур туннелей и позиции костных блоков в туннелях (рис. 4 и 5). По МРТ через 12 мес после операции — ориентацию и состояние трансплантата ПКС в полости сустава и в просвете туннелей. Все КТ-и МРТ-исследования выполняли на используемых в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена аппаратах: компьютерном томографе Siemens Somatom Definition AS (Германия) и МРТ-томографе Siemens Magnetom Verio 3.0 T (Германия). Измерения проводили в программе Falcon Mx v3.6.6 (iCat Solutions Ltd, Великобритания). Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом, протокол № 1 от 21.01.2022.

Статистический анализ

Статистическую обработку результатов проводили в программе SPSS 17.0 (Microsoft®, США). Первично для всех количественных данных проводилась проверка на нормальность распределения тестом Шапиро–Уилка. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD). Сравнение данных в исследуемых группах проводили при помощи двухвыборочного t-критерия Стьюдента. При сравнении количественных переменных в динамике использовали парный t-критерий Стьюдента. В случае отсутствия нормального рас-

пределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 ; Q_3). Данные сравнивали при помощи U-критерия Манна–Уитни. Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение категориальных данных при анализе таблиц сопряженности выполняли с помощью критерия χ^2 Пирсона. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Значимых различий между группами пациентов до операции не было выявлено (табл. 1).

Сравнение измеренной по МРТ минимальной длины связки надколенника с данными интраоперационных замеров показало, что длина связочной части трансплантата была в среднем больше на 2,8 мм ($p=0,001$). Так, по МРТ длина связки надколенника составляла в среднем 44,0 мм ($M=44,03$; $SD=4,12$), а длина связочной части трансплантата была равна 46,8 мм ($M=46,83$; $SD=4,65$). Выявленное относительно небольшое различие длины, по-видимому, было связано с тем, что трансплантат измеряли в состоянии натяжения. В дальнейших расчетах мы использовали данные интраоперационных замеров.

Таблица 1

Характеристика и распределение пациентов, участвовавших в исследовании (n=30)

Показатель	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
Возраст, лет	31,1 (SD=6,7)	28,6 (SD=6,9)	0,800
Пол	Муж. — 11, жен. — 4	Муж. — 12, жен. — 3	0,950
Индекс массы тела, кг/см ²	M=27,40 (SD=4,64)	M=23,40 (SD=1,77)	0,430
Срок от травмы до операции, мес	Me=11 ($Q_1=6$; $Q_3=34$)	Me=6 ($Q_1=3$; $Q_3=26$)	0,09
Шкала IKDC до операции, объективная часть	A — 0, B — 0, C — 14, D — 1	A — 0, B — 0, C — 13, D — 2	1,000

Таблица 2

Результаты интраоперационных измерений длины трансплантата, туннелей и межтуннельной дистанции

Длина, мм	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
Костного блока надколенника	M=20,93 (SD=1,78)	M=21,40 (SD=1,74)	0,852
Связочной части трансплантата	M=47,60 (SD=4,64)	M=45,33 (SD=4,99)	0,764
Большеберцового костного блока	M=31,80 (SD=4,13)	M=30,47 (SD=4,85)	0,836
Бедренного туннеля	M=35,20 (SD=4,49)	M=35,67 (SD=5,80)	0,949
Межтуннельной дистанции	M=28,73 (SD=5,42)	M=26,40 (SD=4,10)	0,734
Большеберцового туннеля	M=46,57 (SD=6,74)	M=43,47 (SD 3,66)	0,680
Связочной части большеберцового туннеля*	M=19,53 (SD=5,20)	M=19,53 (SD=7,05)	1,000
Незаполненной части бедренного туннеля**	M=16,73 (SD=5,73)	M=13,93 (SD=5,62)	0,730

* Разность между связочной частью трансплантата и межтуннельной дистанцией.

** Разность между длиной бедренного туннеля и костного блока надколенника.

Измеренные в ходе операции величины длины костных блоков и связочной части трансплантата, а также величины длины костных туннелей и внутрисуставной межтуннельной дистанции представлены в табл. 2. Различия в данных интраоперационной морфометрии в группах были незначимыми. У большинства пациентов длина связочной части трансплантата была больше внутрисуставной межтуннельной дистанции, что было причиной формирования незаполненного костью проксимального участка большеберцового туннеля, величина которого в среднем составила 19,57 мм (SD=6,11).

При изучении послеоперационных рентгенограмм было выявлено, что у всех исследуемых пациентов костные туннели находились в анатомических позициях, соответствующих проекции мест прикрепления ПКС. Тем не менее у пациентов I группы ось трансплантата проходила статистически значимо ближе к вертикали, как в прямой, так и в боковой проекции. У пациентов II группы на рентгенограммах в прямой проекции угол наклона трансплантата практически соответствовал углу наклона природной ПКС. На рентгенограммах в боковой проекции все же наблюдали небольшое отличие наклона трансплантата от оси природной ПКС в сторону вертикали. По-видимому, это отклонение от нормы можно объяснить отсутствием дополнительной костной опоры для трансплантата у задней стенки туннеля (табл. 3).

У всех пациентов в ходе операции стремились установить костно-связочное соединение бедренного конца трансплантата ПКС на уровне внутрисуставной апертуры бедренного туннеля. По данным послеоперационных КТ дистанция от апертуры бедренного

туннеля до костного блока трансплантата в среднем составила 1,59 мм (SD=1,24). По данным КТ, в динамике (табл. 4, 6) значимых изменений в позиции и размерах апертуры бедренного туннеля, а также изменений глубины залегания костного блока в туннеле не выявлено. Через 6 мес после операции у всех пациентов наблюдали сращение костного блока трансплантата в месте первичной фиксации. Края туннеля, с которыми блок не соприкасался, становились склерозированными. При измерениях в динамике наблюдали небольшое смещение передней и нижней стенок туннеля, то есть мест, испытывавших переменное давление мягкотканной части трансплантата. Величина смещения в среднем не превышала 1,6 мм кпереди и 1,4 мм книзу. Различий между группами не выявлено.

Существенных изменений в положении входа в большеберцовый туннель через 6 мес между группами пациентов также не было выявлено. У некоторых пациентов I группы наблюдали незначительное (и незначимое) смещение задней стенки туннеля кзади (табл. 5), что могло быть вызвано циклическим, относительно небольшим по силе давлением трансплантата на заднюю стенку туннеля. Значимых изменений в глубине залегания дистального костного блока в большеберцовом туннеле не наблюдали, что свидетельствовало о стабильной интерферентной фиксации, достаточной для предупреждения продольной миграции трансплантата при ранних движениях в оперированном суставе (табл. 6). Через 6 мес края апертуры туннеля, содержавшего мягкотканную часть трансплантата, становились равномерно склерозированными.

На послеоперационных КТ у пациентов II группы дополнительный костный фрагмент находился

Таблица 3

Разность между углом наклона трансплантата и углом оси переднемедиальной части природной ПКС к плато медиального мыщелка большеберцовой кости (по послеоперационным рентгенограммам)

Разность углов	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
В прямой проекции	M=6,2(SD=1,8)	M=0,7(SD=0,4)	0,006
В боковой проекции	M=6,7(SD=2,1)	M=2,1(SD=0,6)	0,044

Таблица 4

Изменения положения стенок апертуры бедренного туннеля за 6 мес после пластики передней крестообразной связки (по КТ)

Разность расстояния от края мыщелка до края апертуры туннеля, мм	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
До верхнего, $\Delta a_6 - a_0$	M=0,15 (SD=0,12)	M=0,21 (SD=0,16)	0,766
До нижнего, $\Delta b_6 - b_0$	M=0,99 (SD=0,39)	M=0,34 (SD=0,25)	0,172
До заднего, $\Delta c_6 - c_0$	M=0,09 (SD=0,06)	M=0,21 (SD=0,16)	0,489
До переднего, $\Delta d_6 - d_0$	M=1,23 (SD=0,35)	M=0,63 (SD=0,35)	0,236

Таблица 5

Изменения положения стенок аперттуры большеберцового туннеля за 6 мес после пластики передней крестообразной связки (по КТ)

Разность расстояния от края мыщелка до края аперттуры туннеля, мм	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
До медиального, $\Delta e_6 - e_0$	M=0,21 (SD=0,16)	M=0,33 (SD=0,16)	0,600
До латерального, $\Delta f_6 - f_0$	M=0,51 (SD=0,38)	M=0,38 (SD=0,32)	0,796
До переднего, $\Delta g_6 - g_0$	M=0,43 (SD=0,37)	M=0,41 (SD=0,37)	0,970
До заднего, $\Delta h_6 - h_0$	M=1,21 (SD=0,51)	M=0,46 (SD=0,34)	0,232

Таблица 6

Изменение дистанции от аперттуры туннеля до костного блока трансплантата за 6 мес (по КТ-реконструкции продольной оси туннелей)

Разность дистанции, мм	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
До костного блока в бедренном туннеле, $\Delta x_6 - x_0$	M=0,08 (SD=0,15)	M=0,09 (SD=0,19)	0,967
До костного блока в большеберцовом туннеле, $\Delta y_6 - y_0$	M=0,23 (SD=0,77)	M=0,29 (SD=0,46)	0,947

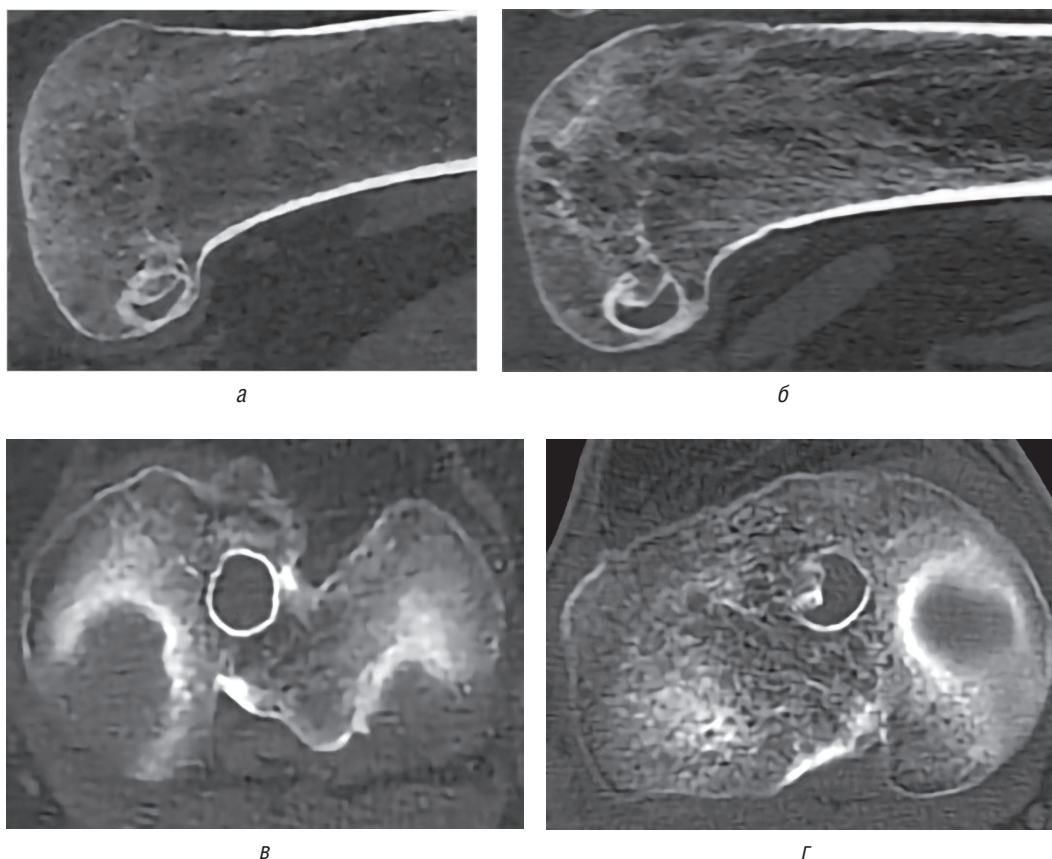


Рис. 6. КТ-изображение аперттуры туннелей у пациента I (а, в) и II (б, г) группы через 6 мес после пластики ПКС: костные блоки трансплантата и фрагмент срослись в туннеле, несоприкасающиеся с костью стенки туннеля склерозированы

на уровне внутрисуставного входа в туннель. Дистанция от аперттуры туннеля до проксимального конца фрагмента в среднем равнялась (–1,30 мм; SD=2,09), через 6 мес она составляла (–0,61 мм; SD=1,71). Выявленное минимальное выстояние фрагмента над про-

веденной на КТ референсной линией не означало его протрузии в полость сустава, так как уровень медиального межмыщелкового гребня был выше, чем дно плато; кроме того, костная поверхность покрыта слоем хряща. Разность дистанции по КТ в динамике оказалась

статистически значимой ($p=0,007$), но в абсолютных значениях — несущественной. Костные фрагменты подвергались перестройке и реваскуляризации, становясь немного меньше по размеру и менее плотными по структуре. В просвете туннеля фрагмент оставался на первоначальном месте и срастался с прилежащей стенкой. Стенки большеберцового туннеля, к которым не прилежали костные блоки, также подвергались склерозу (рис. 6, 7).

По данным МРТ-исследований, выполненных через 12 мес после пластики ПКС, у всех пациентов прослеживался неповрежденный, продольно ориентированный трансплантат. Интенсивность сигнала от него была близка к сигналу от задней крестообразной связки. Поскольку позиция туннелей в обеих группах пациентов была практически одинаковой, то значимых различий в оси созревающего, умеренно гипертрофированного, покрытого синовией трансплантата выявить

не удалось. Тем не менее при изучении изображений во фронтальной и аксиальной плоскостях у пациентов I группы можно было увидеть щелевидную зону повышенного сигнала между полоской трансплантата и медиальной стенкой большеберцового туннеля, что свидетельствовало о смещении оси трансплантата к латеральной стенке. У пациентов II группы подобная щель отсутствовала. Апертура туннеля, содержащая трансплантат, принимала С-образную форму в проекции прямого прикрепления ПКС (рис. 8).

Результаты итогового клинического объективного обследования показали, что выбранная техника анатомической пластики ПКС с использованием трансплантата из связки надколенника позволила у всех исследуемых пациентов получить восстановление нормальной амплитуды движений поврежденного сустава (табл. 7). Уровень болезненности донорского места оценивали в соответствии с объективной

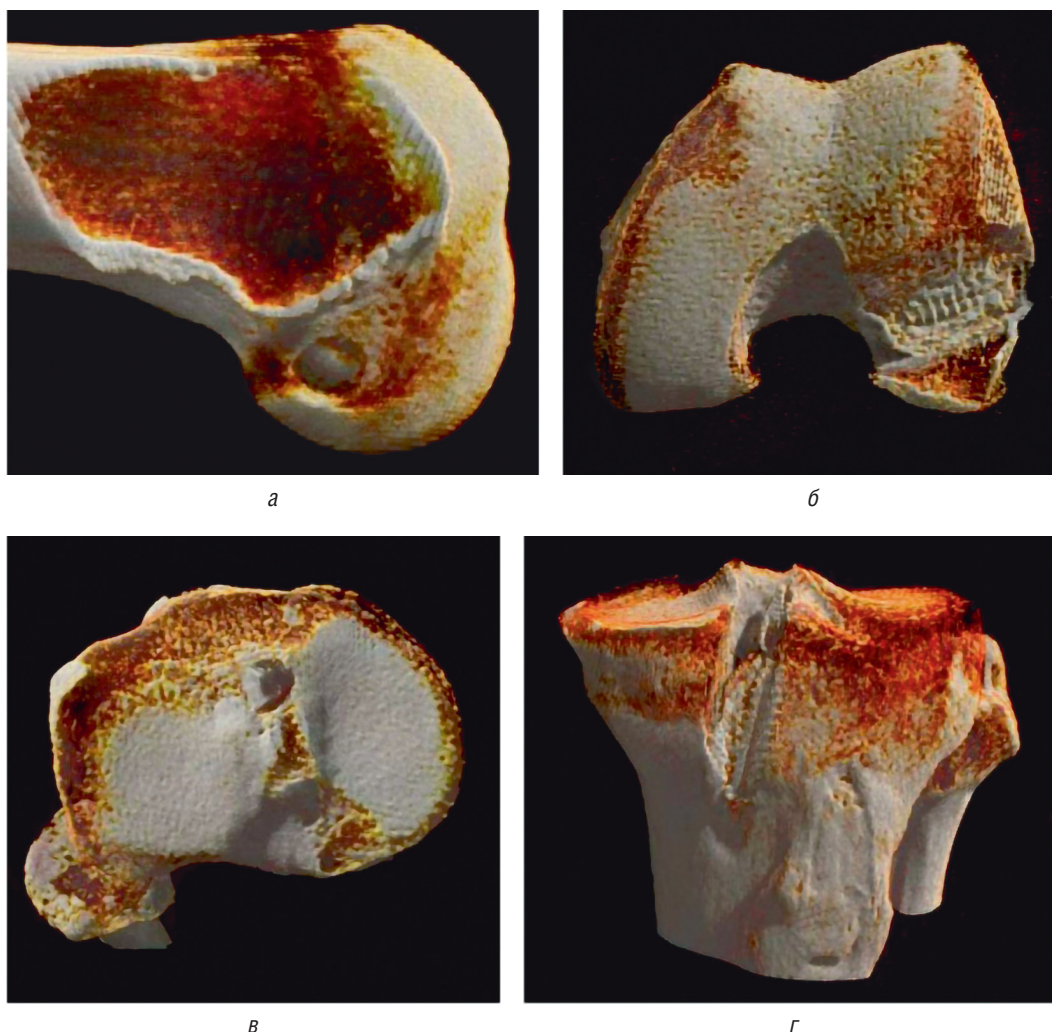


Рис. 7. Трехмерная КТ-реконструкция туннелей у пациента II группы через 6 мес после операции: а, б — виден сросшийся костный блок трансплантата на уровне входа в бедренный туннель; в, г — дополнительный костный фрагмент, сросшийся с латеральной стенкой туннеля; в — вход в большеберцовый туннель имеет С-образную анатомическую форму; г — закрытый донорский дефект бугристости после костной пластики

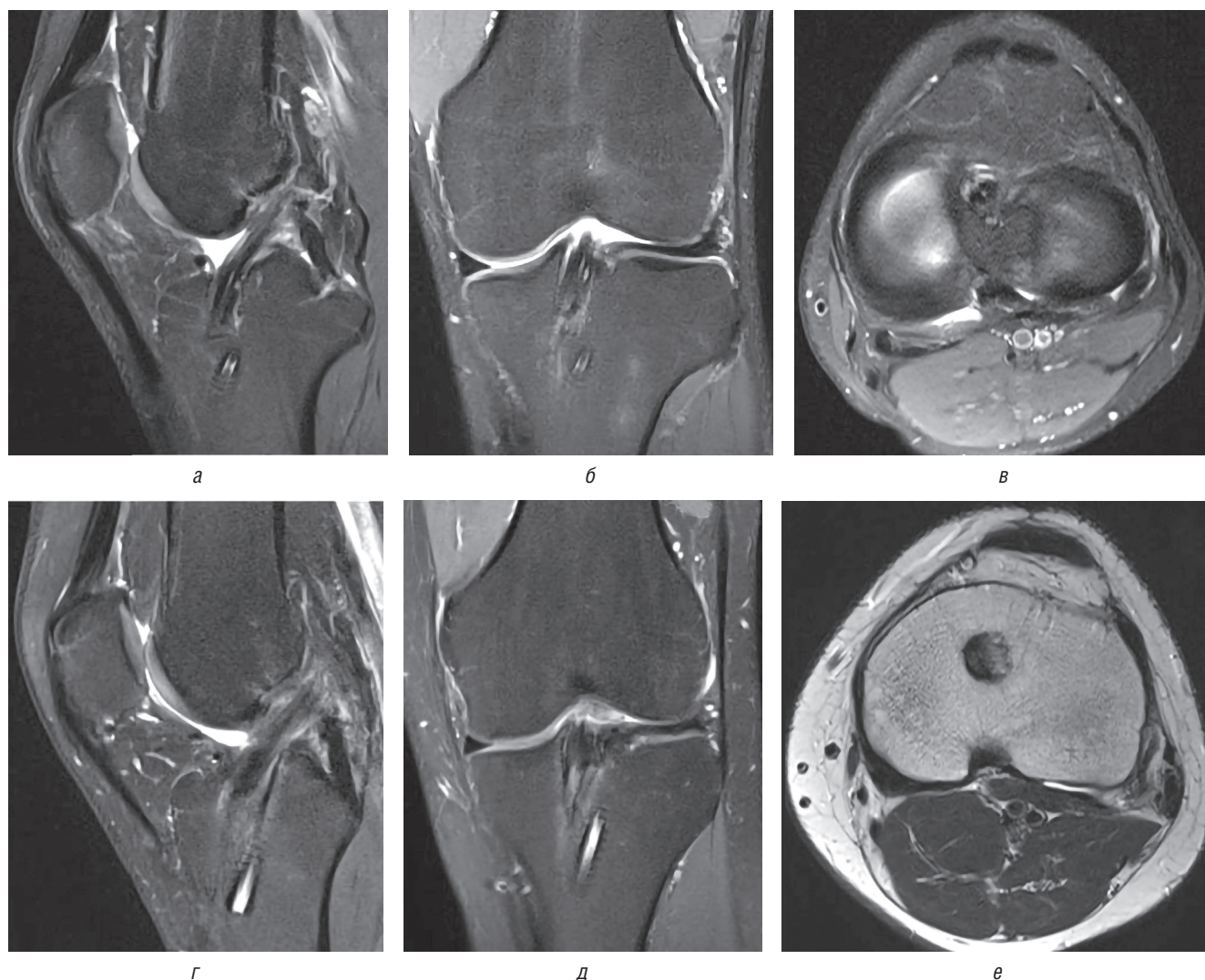


Рис. 8. МРТ-томограммы через 12 мес после операции у пациента I (а, б, в) и II (г, д, е) группы: а, г — продольная ось трансплантата; б, д — щель (б) или ее отсутствие (д) между медиальной стенкой большеберцового туннеля и трансплантатом; в — трансплантат смещен к заднелатеральной стенке; е — трансплантат прилежит к медиальной стенке туннеля

Таблица 7

Результаты клинического объективного обследования пациентов

Показатель	I группа (n=15)	II группа (n=15)	p
Дефицит разгибания	Нет	Нет	1,000
Дефицит сгибания	Нет	Нет	1,000
Тест Лахмана			
– (от 0 до 2 мм)	15 (100%)	15 (100%)	1,000
Тест «переднего выдвижного ящика»			
– (от 0 до 2 мм)	8 (53,3%)	14 (93,3%)	0,045
+ (от 3 до 5 мм)	6 (40,0%)	1 (6,7%)	
++ (от 6 до 10 мм)	1 (6,7%)	–	
Тест «pivot-shift»			
– (отрицательный)	8 (53,3%)	14 (93,3%)	0,045
+ (скользящий)	6 (40,0%)	1 (6,7%)	
++ (явный)	1 (6,7%)	–	
Шкала IKDC-2000, объективная часть	A-8, B-6, C-1, D-0	A-14, B-1, C-0, D-0	0,045

частью шкалы IKDC-2000, различий между группами не было. Степень выраженности симптомов не превышала уровня «незначительная». В целом у пациентов удалось достичь восстановления нормального (или почти нормального) уровня функциональной стабильности оперированного коленного сустава, но частота остаточной нестабильности у пациентов II группы была ниже. Так, положительные тесты несостоятельности трансплантата («переднего выдвижного ящика» и «pivot-shift») наблюдали у 7 пациентов из I группы и лишь у одного из II группы ($p=0,045$).

Обсуждение результатов

Перед хирургами при лечении пациентов с разрывами ПКС стоит цель — восстановить поврежденную связку и вернуть коленному суставу нормальное стабильно-функциональное состояние. Опыт показывает, что анатомически правильное размещение трансплантата из средней трети связки надколенника позволяет у многих, но, к сожалению, не у всех пациентов получить желаемый эффект. Характерной особенностью данного вида заместителя поврежденной ПКС является несоответствие между трансплантатом и туннелем, что может быть одной из причин остаточной нестабильности.

В 1993 г. B. Shaffer и соавт., пожалуй, первыми обозначили проблему несоответствия длины трансплантата и туннеля, указали на важность интраоперационных измерений трансплантата и туннелей при эндоскопической пластике ПКС и предложили оригинальный способ ее решения. В случаях, когда в большеберцовом туннеле могло оказаться менее 20 мм костного блока трансплантата, авторы прибегали к изменению техники. При длине связки надколенника более 50 мм хирурги забирали большеберцовый костный блок трансплантата единым блоком вместе с дополнительным кусочком кости, взятым из переднего края эпифиза. Большеберцовым концом трансплантат вводили в бедренный туннель и фиксировали его (со стороны костного фрагмента) интерферентным винтом [26]. Подобный способ устранения несоответствия длины трансплантата и туннеля вновь был предложен в 2022 г. G. Japane и соавт. и развит И.Ю. Ходжановым и Б.С. Убайдуллаевым в 2024 г. [27, 28]. При анатомической пластике для лучшей адаптации костного блока в туннеле они также использовали костный фрагмент из переднего края эпифиза большеберцовой кости рассчитанной длины, но внедряли его в большеберцовый туннель. Такие техники решают задачу укорочения и эффективной интерферентной фиксации трансплантата. Они представляются технически нетрудными и привлекательными, особенно при применении обоснованного авторами предоперационного MPT-планирования. Однако так как забираемый фрагмент

эпифиза представляет собой скользящую опорную поверхность для дистального конца связки надколенника (стенку глубокой синовиальной сумки), декортикация этой зоны может завершиться рубцеванием и функциональным укорочением связки надколенника. Кроме того, помещение скользкой поверхности в проксимальную часть большеберцового туннеля не способствует ограничению подвижности контактирующей части трансплантата. Авторы, к сожалению, не приводят данных о послеоперационных изменениях в зоне забора.

Другим решением было определение правил для выбора угла направителя, при котором будет возможно рассверлить большеберцовый туннель рациональной длины. Наиболее обоснованным при транстибиальной технике называли правило «N+7», где N — длина связочной части трансплантата, а при независимом (анатомическом) рассверливании бедренного туннеля — «N+10» [29, 30]. Данный подход у большинства пациентов позволял эффективно (для надежной интерферентной фиксации) установить костные блоки в просвете туннелей, но не устранял несоответствие трансплантата и туннеля по ширине.

В 1995 г. C.D. Morgan и соавт. предложили укорачивать трансплантат из связки надколенника, выполняя разворот одного из костных блоков на 180° и подшивая его к связке [31]. Данный способ интересен тем, что он позволяет приблизить точку вращения трансплантата к суставной линии. Однако он не лишен недостатков: во-первых, для адаптации в туннеле необходимо сделать костный блок существенно тоньше, что может снижать прочность интерферентной фиксации в эпифизарной области и, во-вторых, он приводит к изменению ориентации места естественного костно-связочного перехода и полосы трансплантата в целом.

Техника, наиболее близкая к нашему предложению, была изложена в статье B.L. Fowler и V.J. DiStefano в 1998 г. [32]. Авторы предложили во время операции вычислять длину проксимальной части большеберцового туннеля, в которой не будет находиться костный блок трансплантата, и заполнять ее свободным спонгиозным костным фрагментом, подшивая его к трансплантату непосредственно над большеберцовым костным блоком. Авторы предполагали создать зону плотного контакта мягкотканной части трансплантата вблизи к суставной поверхности. Однако эта перспективная методика не получила широкого применения, вероятно, вследствие технических трудностей. В качестве костного фрагмента использовали губчатый цилиндр, который забирали полым сверлом при рассверливании большеберцового туннеля. Прочность губчатого трансплантата может значительно варьировать и оказаться недостаточной, например, при остеопорозе или малом диаметре. Он может повреждаться при заборе или в момент подшивания к связке, сминаться или мигрировать при интер-

ферентной фиксации. В настоящее время чаще полученную таким способом костную губку используют для пластики донорских дефектов.

В настоящем исследовании мы тоже опирались на результаты интраоперационных измерений, для чего предложили простую и доступную технику с пересечением шовной петли из лески на разных уровнях. Взяв к применению известную и воспроизводимую технику двухдоступного независимого формирования туннелей при пластике ПКС, мы попытались создать условия для размещения и приживления трансплантата в местах анатомического прикрепления. На бедре при установке трансплантата из связки надколенника ориентировали его в соответствии с ходом природной ПКС и выравнивали костно-связочное соединение на уровне внутрисуставной апертуры туннеля. На голени забирали вычисленного размера свободный костный фрагмент из переднего края большеберцовой кости (*margo anterior tibiae*), имеющего выраженный кортикальный слой, и подшивали его к трансплантату.

Донорские костные дефекты заполняли аутокостью, полученной при обработке костных концов трансплантата, рассверливании костных туннелей и со дна дефекта бугристости. В восстановительном периоде по данным рентгенографии, КТ в динамике и МРТ была прослежена судьба такого трансплантата (состояние и позиция туннелей, костных концов трансплантата и возможные изменения в добавленном костном

фрагменте, позиция трансплантата) и подтверждена эффективность предложенной техники.

Ограничения исследования

Недостатками выполненного исследования можно считать небольшую выборку пациентов и малый срок наблюдения. Первый недостаток старались возместить выбором однородных сравнимых групп, применением современных объективных информативных методов. Второе ограничение учитывали при оценке результатов, сосредоточившись на изучении объективных данных, отражающих взаимоотношения трансплантата и костных туннелей и степень анатомо-функционального восстановления пациентов.

Заключение

Установка костно-связочного соединения трансплантата из связки надколенника на уровне внутрисуставного входа в бедренный туннель, его анатомическая ориентация в суставе, вклинение необходимого по величине кортикального костного фрагмента между латеральным краем апертуры большеберцового туннеля и полоской трансплантата, интерферентная фиксация позволяли надежно разместить трансплантат и создать точки опоры (вращения) в местах прикрепления природной ПКС, что способствовало улучшению анатомо-функциональных результатов лечения пациентов.

Список литературы

1. Tuca M., Valderrama I., Eriksson K., Tapasvi S. Current trends in anterior cruciate ligament surgery. A worldwide benchmark study. J. ISAKOS 2023; 8 (1): 2–10. doi: 10.1016/j.jisako.2022.08.009.
2. Fox M.A., Engler I.D., Zsidai B.T., Hughes J.D., Musahl V. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: Freddie Fu's paradigm. J. ISAKOS 2023; 8 (1): 15–22. doi: 10.1016/j.jisako.2022.08.003
3. Borque K.A., Laughlin M.S., Pinheiro V.H., Jones M., Williams A. Re-branding the 'anatomic' ACL reconstruction: Current concepts. J. ISAKOS 2023; 8 (1): 23–28. doi: 10.1016/j.jisako.2022.11.001.
4. Siebold R., Schuhmacher P., Fernandez F. et al. Flat midsubstance of the anterior cruciate ligament with tibial «C»-shaped insertion site. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2015; 23 (11): 3136–3142. doi: 10.1007/s00167-014-3058-6.
5. Śmigielski R., Zdanowicz U., Drwięga M., Ciszek B., Ciszowska-Łysoń B., Siebold R. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2015; 23 (11): 3143–3150. doi: 10.1007/s00167-014-3146-7.
6. Mochizuki T., Fujishiro H., Nimura A. et al. Anatomic and histologic analysis of the mid-substance and fan-like extension fibres of the anterior cruciate ligament during knee motion, with special reference to the femoral attachment. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2014; 22 (2): 336–344. doi: 10.1007/s00167-013-2404-4.
7. Oka S., Schuhmacher P., Brehmer A., Traut U., Kirsch J., Siebold R. Histological analysis of the tibial anterior cruciate ligament insertion. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2016; 24 (3): 747–753. doi: 10.1007/s00167-015-3924-x.
8. Kusano M., Yonetani Y., Mae T., Nakata K., Yoshikawa H., Shino K. Tibial insertions of the anterior cruciate ligament and the anterior horn of the lateral meniscus: A histological and computed tomographic study. Knee. 2017; 24 (4): 782–791. doi: 10.1016/j.knee.2017.04.014.
9. Lee B.H., Bansal S., Park S.H., Wang J.H. Eccentric Graft Positioning Within the Femoral Tunnel Aperture in Anatomic Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using the Transportal and Outside-In Techniques. Am. J. Sports Med. 2015; 43 (5): 1180–1188. doi: 10.1177/0363546514568278.
10. Hoshino Y., Kuroda R., Nishizawa Y. et al. Stress distribution is deviated around the aperture of the femoral tunnel in the anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2018; 26 (4): 1145–1151. doi: 10.1007/s00167-017-4543-5.
11. Ohori T., Mae T., Shino K. et al. Morphological changes in tibial tunnels after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon graft. J. Exp. Orthop. 2017; 4 (1): 30. doi: 10.1186/s40634-017-0104-6.
12. Zhu J., Marshall B., Tang X., Linde M.A., Fu F.H., Smolinski P. ACL graft with extra-cortical fixation rotates around the femoral tunnel aperture during knee flexion. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2022; 30 (1): 116–123. doi: 10.1007/s00167-021-06703-8.
13. Aga C., Wilson K.J., Johansen S., Doman G., La Prade R.F., Engebretsen L. Tunnel widening in single- versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstructed knees. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 2017; 25 (4): 1316–1327. doi: 10.1007/s00167-016-4204-0.
14. Tachibana Y., Mae T., Shino K. et al. Morphological changes in femoral tunnels after anatomic anterior cruciate ligament

- reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2015; 23 (12): 3591–3600. doi: 10.1007/s00167-014-3252-6.
15. Королев А.В., Магнитская Н.Е., Рязанцев М.С., Ильин Д.О., Афанасьев А.П., Фролов А.В. Влияние дополнительной поперечной стабилизации трансплантата передней крестообразной связки в бедренном канале на степень его расширения. *Травматология и ортопедия России* 2017; 23 (1): 59–69. [Korolev A.V., Magnitskaya N.E., Ryazantsev M.S., Il'in D.O., Afanasyev A.P., Frolov A.V. Combined Femoral Fixation Technique in Hamstring Tendon Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Assessment of Tunnel Widening. *Travmatologija i ortopedija Rossii* 2017; 23 (1): 59–69 (In Russ.)]. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-59-69.
 16. Гончаров Е.Н., Коваль О.А., Дубров В.Э., Безуглов Э.Н., АLEXIN А.А., Гончаров Н.Г. Среднесрочные результаты одномоментного восстановления передней крестообразной и антеролатеральной связок коленного сустава у спортсменов. *Травматология и ортопедия России* 2020; 26 (1): 62–71. [Goncharov E.N., Koval O.A., Dubrov V.E., Bezuglov E.N., Alekhin A.A., Goncharov N.G. Mid-Term Results of Simultaneous Reconstruction of Anterior Cruciate and Anterolateral Ligaments in Athletes. *Travmatologija i ortopedija Rossii* 2020; 26 (1): 62–71 (In Russ.)]. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-62-71.
 17. Заяц В.В., Дулаев А.К., Загородний Н.В., Дыдыкин А.В., Ульянченко И.Н. Функциональные результаты хирургической реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава в сочетании с латеральной стабилизацией. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова* 2019; 178 (1): 39–44. [Zayats V.V., Dulaev A.K., Zagorodnii N.V., Dydykin A.V., Ulyanchenko I.N. Functional results of surgical reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee joint in combination with lateral stabilization. *Vestnik hirurгии im. I.I. Grekova* 2019; 178 (1): 39–44 (In Russ.)]. doi: 10.24884/0042-4625-2019-178-1-39-44.
 18. Fujii M., Sasaki Y., Araki D. et al. Evaluation of the semitendinosus tendon graft shift in the bone tunnel: an experimental study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2016; 24 (9): 2773–2777. doi: 10.1007/s00167-014-3461-z.
 19. Заяц В.В., Дулаев А.К., Дыдыкин А.В., Ульянченко И.Н. Клиническая эффективность анатомической пластики передней крестообразной связки коленного сустава. *Гений ортопедии* 2021; 27 (1): 48–54. [Zayats V.V., Dulaev A.K., Dydykin A.V., Ulyanchenko I.N. Clinical evaluation of anatomical reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Genij Ortopedii* 2021; 27 (1): 48–54 (In Russ.)]. doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-48-54.
 20. Beckers L., Vivacqua T., Firth A.D., Getgood A.M.J. Clinical outcomes of contemporary lateral augmentation techniques in primary ACL reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *J. Exp. Orthop.* 2021; 8 (1): 59. doi: 10.1186/s40634-021-00368-5.
 21. Saltzman B.M., Varkey D.T., Trofa D.P. et al. An update on graft-tunnel mismatch in anterior cruciate ligament reconstruction: A survey of the experts in the field of orthopedic sports medicine demonstrates no clear consensus in management. *The Knee* 2020; 27 (5): 1525–1533. doi: 10.1016/j.knee.2020.08.003.
 22. Tachibana Y., Shino K., Mae T., Iuchi R., Take Y., Nakagawa S. Anatomical rectangular tunnels identified with the arthroscopic landmarks result in excellent outcomes in ACL reconstruction with a BTB graft. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2019; 27 (8): 2680–2690. doi: 10.1007/s00167-018-5300-0.
 23. Matsuo T., Kusano M., Uchida R. et al. Anatomical rectangular tunnel anterior cruciate ligament reconstruction provides excellent clinical outcomes. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30 (4): 1396–1403. doi: 10.1007/s00167-021-06609-5.
 24. Uchida R., Shiozaki Y., Tanaka Y. et al. Relationship between bone plug position and morphological changes of tunnel aperture in anatomic rectangular tunnel ACL reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2019; 27 (8): 2417–2425. doi: 10.1007/s00167-018-5224-8.
 25. Kurihara S., Yanagisawa S., Takahashi T. et al. Increased Bone Plug Depth From the Joint Increases Tunnel Enlargement in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft With Suspensory Femoral Fixation. *Arthrosc Sports Med. Rehabil.* 2023; 5 (4): 100755. doi: 10.1016/j.asmr.2023.100755.
 26. Shaffer B., Gow W., Tibone J.E. Graft-tunnel mismatch in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a new technique of intraarticular measurement and modified graft harvesting. *Arthroscopy.* 1993; 9 (6): 633–646. doi: 10.1016/s0749-8063 (05)80499-2.
 27. Janani G., Lakshmi S., Prakash A. et al. Preoperative templating of bone-patellar tendon-bone graft for anterior cruciate ligament reconstruction: a morphometry-based graft harvest method. *Clin. Orthop.* 2023; 15 (3): 410417. doi: 10.4055/cios21167.
 28. Ходжанов И.Ю., Убайдуллаев Б.С. Модифицированный способ пластики передней крестообразной связки с использованием аутооттрансплантата BTB. *Травматология и ортопедия России* 2024; 30 (2): 143–150. [Khodjanov I.Y., Ubaydullaev B.S. A modified anterior cruciate ligament reconstruction with BTB autograft. *Travmatologija i ortopedija Rossii* 2024; 30 (2): 143–150 (In Russ.)]. doi: 10.17816/2311-2905-17503.
 29. Miller M.D., Hinkin D.T. The «N + 7 rule» for tibial tunnel placement in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1996; 12 (1): 124–126. doi: 10.1016/s0749-8063 (96)90234-0.
 30. Graf R.M., Dart S.E., MacLean I.S. et al. The «N+10 Rule» to Avoid Graft-Tunnel Mismatch in Bone-Patellar Tendon-Bone ACL Reconstruction Using Independent Femoral Tunnel Drilling. *Orthop. J. Sports Med.* 2023; 11 (5): 23259671231168885. doi: 10.1177/23259671231168885.
 31. Morgan C.D., Kalmam V.R., Grawl D.M. Isometry testing for anterior cruciate ligament reconstruction revisited. *Arthroscopy* 1995; 11 (6): 647–659. doi: 10.1016/0749-8063 (95)90104-3.
 32. Fowler B.L., DiStefano V.J. Tibial tunnel bone grafting a new technique for dealing with graft-tunnel mismatch in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1998; 14(2): 224–228. doi: 10.1016/s0749-8063(98)70046-5.

Поступила в редакцию: 08.04.2025 г.

Сведения об авторах:

Трачук Павел Александрович — врач травматолог-ортопед, аспирант ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8; e-mail: trachukrav@gmail.com; ORCID 0000-0002-4442-5831;

Трачук Александр Павлович — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8; e-mail: trachukalex@mail.ru; ORCID 0009-0005-5457-0003;

Богоспольский Олег Евгеньевич — врач травматолог-ортопед ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8; e-mail: 9202211@gmail.com; ORCID 0000-0002-4883-0543.