

The Use of a Corrugated Suture for Cortical Fixation of a Semitendinosus Tendon Autograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Clinical Results

V.V. Slastinin¹, N.V. Yarygin¹, M.V. Parshikov¹, A.M. Fain², M.V. Sychevskiy¹, M.V. Govorov¹

¹ A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

² N.V. Sklifosovskiy Scientific Research Institute, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study purpose – to evaluate the clinical results and the condition of bone tunnels after anterior cruciate ligament reconstruction with a semitendinosus tendon graft using cortical fixation and corrugated sutures. **Materials and Methods.** The results anterior cruciate ligament reconstruction with a semitendinosus tendon autograft were analyzed in 57 patients aged 18 to 53 years. The patients of the first group ($n = 27$) underwent anterior cruciate ligament reconstruction with a semitendinosus tendon graft using cortical fixation on the femur and tibia in combination with corrugated sutures at the proximal and distal ends of the graft. The patients of the second group ($n = 30$) underwent anterior cruciate ligament reconstruction in a similar way, but without the use of corrugated sutures. Clinical results were assessed using the Lysholm and IKDC scales. The degree of bone tunnels widening was evaluated by CT data in 6 months after the surgery. **Results.** In the first group, the degree of postoperative bone tunnels widening was significantly lower (for the femoral tunnel by 18% and tibial – by 17%) compared with the second group (for the femoral tunnel by 30% and tibial – by 31%). Scores by the IKDC 2000 and Lysholm scales were higher in the corrugated sutured group. Although, the treatment outcome was interpreted as equally good for both groups. The time for graft preparation was on average 6 minutes longer in the first group. This slightly increased the duration of the surgery. **Conclusion.** The anterior cruciate ligament reconstruction with a semitendinosus tendon graft using cortical fixation on the femur and tibia in combination with corrugated sutures ensured the tight contact of the tendon inside the bone tunnels without additional implants and reduced the degree of tunnels widening. This is important for a possible re-grafting. The proposed method does not significantly affect the clinical outcomes.

Keywords: anterior cruciate ligament reconstruction, popliteus ligaments, semitendinosus tendon autograft, corrugated suture.

Введение

Интеграция сухожилий подколенных мышц и кости при пластике передней крестообразной связки (ПКС) является одной из основных проблем: биологические процессы, протекающие на границе «сухожильный трансплантат – костный тоннель» остаются до конца не изученными [1]. Расширение костных тоннелей является хорошо известным феноменом, наблюдающимся у пациентов после пластики ПКС. Несмотря на отсутствие его влияния на клинические результаты в ближайшем периоде, многие ортопеды едины во мнении, что этого осложнения лучше избегать, так как оно может ухудшить исходы в среднесрочном и отдаленном периодах и значительно усложнить ревизионное вмешательство [2]. При необходимости ревизионной пластики ПКС в некоторых ситуациях требуется дополнительный этап лечения в виде костной пластики в области дефектов бедренной и большеберцовой костей [3]. В 2006 г. S.A. Rodeo с соавторами в экспериментах на животных до-

казали, что микроподвижность имплантированного сухожилия в области контакта с костью приводит к расширению тоннелей за счет активации остеокластов [4]. Согласно исследованию В. Chen с соавторами, опубликованному в 2007 г., расширение тоннелей происходит обычно в течение 3–6 мес. после операции и остается неизменным через 12–24 мес. [5].

При использовании интерферентных винтов для фиксации трансплантата последний прижимается к стенке костного тоннеля, что позволяет максимально приблизить участок плотного контакта к суставной линии. Вследствие этого его подвижность уменьшается, и синовиальная жидкость не может попасть между сухожилием и костью. Но у этой технологии есть и отрицательные стороны: возможность повреждения трансплантата и стенок канала во время введения винта, плохая интеграция винта и нередко патологические реакции на инородное тело. Сложность процессов, происходящих вокруг биодеградируемого фикса-

тора, часто не позволяет предсказать конечный исход [6].

При пластике ПКС по методике J.H. Lubowitz, так называемой технике all-inside, для фиксации трансплантата используются кортикальные пуговицы, а само сухожилие складывается пополам дважды [7]. При таком методе обеспечивается полный контакт между стенками костных тоннелей и трансплантатом, а отсутствие инородного тела в тоннеле обеспечивает хорошую интеграцию [8].

Цель исследования — сравнить и оценить клинические результаты и состояние костных тоннелей после пластики ПКС трансплантатом из сухожилия полусухожильной мышцы (СПМ) с использованием кортикальной фиксации на бедренной и большеберцовой костях с методикой кортикальной фиксации трансплантата в комбинации с модифицированным гофрирующим швом.

Материал и методы

С 2017 по 2019 г. в исследование были включены 63 пациента (44 мужчины и 19 женщин). Их возраст варьировал от 18 до 53 лет.

Критерии включения в исследование:

- 1) разрыв ПКС, диагностированный клинически, подтвержденный данными МРТ;
- 2) интервал между разрывом и реконструкцией связки не более 1 года;
- 3) активность по шкале Y. Tegner [9] не менее 5;
- 4) здоровый контралатеральный коленный сустав.

Критерии исключения: наличие полнослойного дефекта суставного хряща, разрывы менисков

и повреждения других связок коленного сустава, требующие изменения протокола реабилитации.

Из исследования были исключены 3 пациента: первый — вследствие диагностированного полнослойного дефекта хряща, потребовавшего одномоментной мозаичной хондропластики; второй — из-за разрыва мениска, потребовавшего его шва и изменения протокола реабилитации; третий — из-за недостаточной толщины трансплантата, полученного из СПМ в два сложения (в данном случае выполнялся дополнительный забор сухожилия нежной мышцы). У троих пациентов не удалось отследить отдаленный результат. Распределение пациентов показано на рисунке 1.

Пациенты были разделены на две группы. Пациентам первой группы выполнена пластика ПКС трансплантатом из СПМ с использованием кортикальной фиксации на бедренной и большеберцовой костях в сочетании с гофрирующими швами на проксимальном и дистальном концах трансплантата. Ранее разработанная оригинальная методика была экспериментально обоснована [10]. Пациентам второй группы осуществлена пластика ПКС трансплантатом из СПМ с использованием кортикальной фиксации на бедренной и большеберцовой костях. В обоих вариантах на бедренной кости использовался фиксатор TightRope RT (Arthrex Inc., США), а на большеберцовой кости — ABS ButtonRound (Arthrex Inc., США). Прошивание трансплантатов осуществлялось нитями FiberWhire 2# (Arthrex Inc., США).

Через 6 мес. после операции была выполнена КТ коленных суставов.

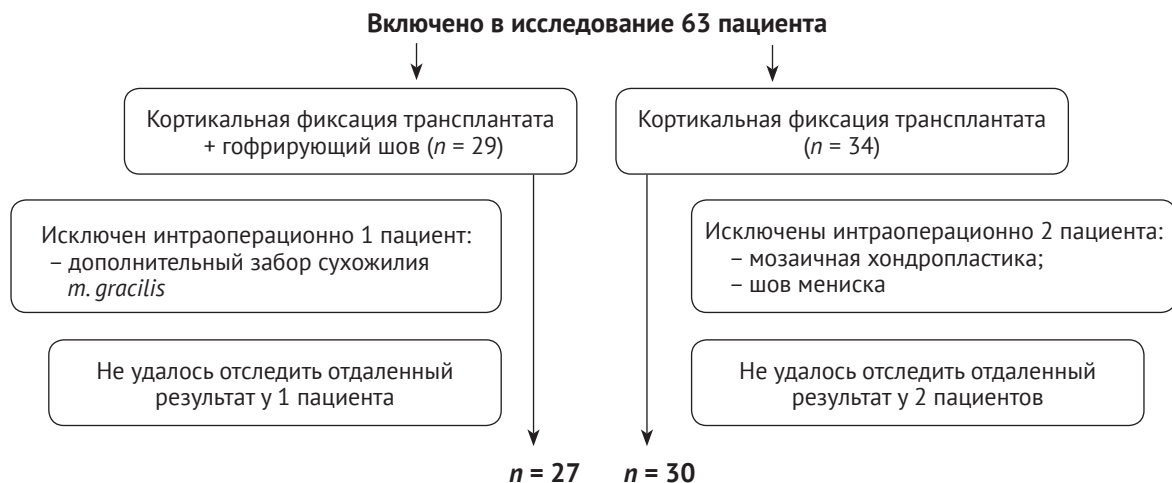


Рис. 1. Распределение пациентов, включенных в исследование
Fig. 1. Flowchart of the study

Хирургическая техника фиксации с применением гофрирующего шва

Забор СПМ осуществляли из продольного доступа по передне-внутренней поверхности голени и промывали его в 4% растворе хлоргексидина с целью профилактики послеоперационной инфекции [11]. Далее на препаровочном столике готовили четырехпучковый трансплантат. Методика его формирования подробно описана в работах J.H. Lubowitz [7]. При умеренном потягивании за нити 1 и 2, закрепленные в фиксаторах препаровочного столика, трансплантат из округлой формы приобретал вытянутую. Пучки располагали таким образом, чтобы область контакта свободных концов сухожилия оказалась прикрыта ими. Далее формировали дистальный и проксимальный циркулярные швы, затем — гофрирующие.

На рисунке 2 изображена схема подготовленного сухожилия до и после погружения нитей

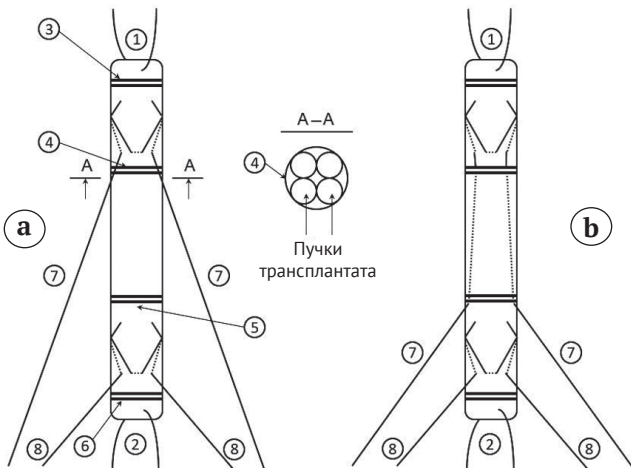


Рис. 2. Схема подготовленного по модифицированной методике четырехпучкового трансплантата из СПМ:

а — вид после формирования гофрирующих швов и до погружения проксимального гофрирующего шва в толщу трансплантата; б — вид после погружения проксимального гофрирующего шва в толщу трансплантата;

1 — нить бедренного кортикального фиксатора; 2 — нить для кортикальной фиксации на большеберцовой кости; 3, 4, 5, 6 — циркулярные швы; 7 — нить проксимального гофрирующего шва; 8 — нить дистального гофрирующего шва

Fig. 2. Scheme of the four-bundle semitendinosus tendon graft prepared by modified method: а — view after corrugated sutures formation and before the proximal corrugated suture immersion into the graft; б — view after the proximal corrugated suture immersion into the graft;

1 — thread of femoral cortical fixator; 2 — thread of cortical fixation at the tibia; 3, 4, 5, 6 — circular sutures; 7 — thread of the proximal corrugated suture; 8 — thread of the distal corrugated suture

проксимального гофрирующего шва (5) в толщу трансплантата.

На рисунке 3 изображена схема формирования проксимального гофрирующего шва. Ниже представлено подробное описание этапов. Дистальный гофрирующий шов формировался аналогично. На рисунке 4 представлена фотография подготовленного по разработанной методике трансплантата.

Формирование бедренного тоннеля осуществляли через антеромедиальный артроскопический порт — для погружения трансплантата его рассверливали на глубину 20 мм. Сквозной большеберцовый тоннель формировали традиционно, ориентируясь на расположение культы ПКС, которую старались максимально сохранить. Также для объективизации правильности расположения бедренного и большеберцового тоннелей использовали во время операции электронно-оптический

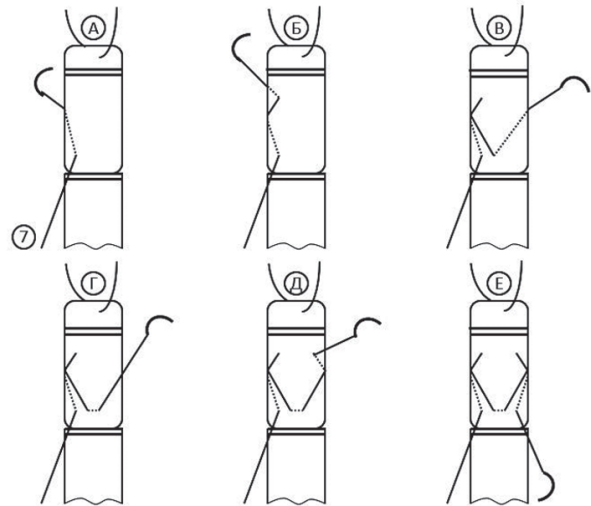


Рис. 3. Формирование гофрирующего шва: буквами обозначена последовательность этапов выполнения

Fig. 3. Corrugated suture formation: the letters indicate the sequence of stages

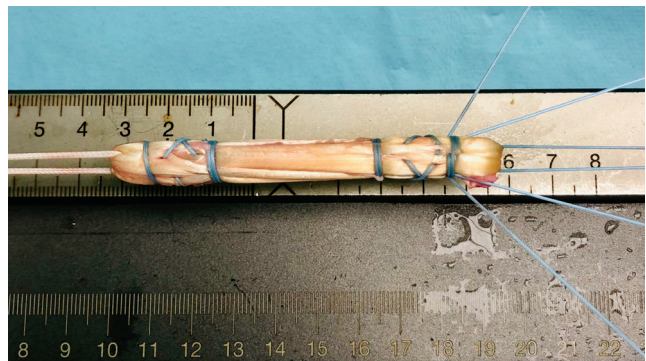


Рис. 4. Вид подготовленного по разработанной методике трансплантата

Fig. 4. View of the graft prepared by our method

преобразователь (ЭОП). Локализацию бедренного тоннеля оценивали с использованием метода квадратов, описанного М. Bernard с соавторами [12]. Его центр рассчитывался с помощью вычисления расстояния от линии Blumensaat в проксимально-дистальном направлении: ось h — линия, проведенная перпендикулярно линии Blumensaat, начинающаяся от крыши межмышечковой вырезки и заканчивающаяся у нижнего края латерального мыщелка бедренной кости (ЛМБК) и расстояния от наиболее кзади расположенной части латерального мыщелка бедренной кости в дорсально-вентральном направлении; ось t — линия, проведенная параллельно линии Blumensaat, начинающаяся от заднего и заканчивающаяся у переднего края ЛМБК [13]. Локализацию большеберцового тоннеля определяли с использованием линии Amis и Jakob — расстояние между передним краем плато большеберцовой кости до центра тоннеля, выраженное в процентах от передне-заднего размера проксимального ее отдела [14]. Для расчетов и позиционирования тоннелей во время операции использовали шаблоны, изготовленные самостоятельно по методике S. Kumar с соавторами [15].

Трансплантат вводили ретроградно через большеберцовый тоннель в полость коленного сустава, а затем в бедренный тоннель по стандартной методике. Через бедренный канал в проксимальном направлении тягу для проведения трансплантата осуществляют за концы нити 1 (TightRope RT). Погружение сухожилия в бедренный тоннель осуществляли в соответствии с рекомендациями производителя при попеременном потягивании белых нитей. Его длину на этом этапе рассчитывали таким образом, чтобы имелся запас широкой части канала около 5 мм для возможности дополнительного натяжения сухожилия с помощью затягивающейся петли после фиксации на большеберцовой кости. После установки трансплантата центральная его часть находилась в полости коленного сустава, проксимальная (прошита нитью 7) погружена в бедренный костный тоннель, в то время как дистальная (прошита нитью 8) занимала проксимальную часть больше-

берцового канала. Затем при постоянной тяге за нить 2 выполняли несколько циклов пассивного сгибания и разгибания в коленном суставе. Концы нитей 2, 7 и 8 продевали попарно в большеберцовый кортикальный фиксатор ABS ButtonRound (Arthrex Inc., США), на котором завязывали концы нити 2. Затем для дополнительного натяжения трансплантата подтягивали петлю бедренного фиксатора, для чего использовался запас длины бедренного тоннеля в 5 мм. Наконец, после предварительного потягивания, попарно завязывали концы нитей гофрирующих швов — сначала проксимального, затем дистального, что обеспечивало увеличение диаметра трансплантата в бедренной и большеберцовой костях. Концы нитей срезали. После установки дренажа через антеромедиальный артроскопический порт раны ушивали. Принцип действия гофрирующих швов показан на рисунке 5.

Артроскопическая картина до и после пластики ПКС представлена на рисунке 6.

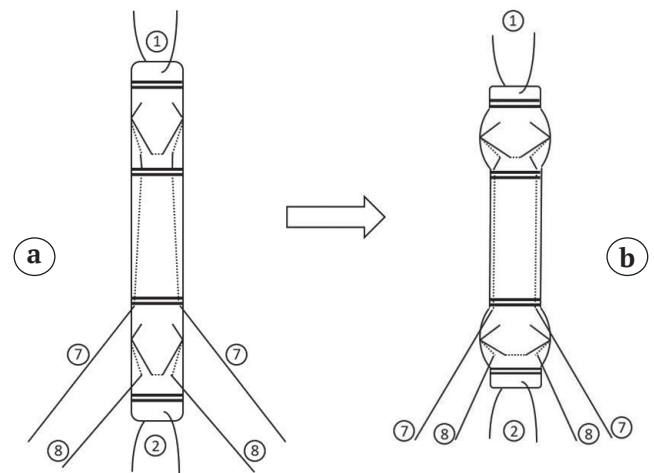


Рис. 5. Принцип действия гофрирующего шва: а — до натяжения нитей гофрирующих швов; б — после их натяжения. Цифровые обозначения совпадают с обозначениями на рисунке 2

Fig. 5. Mode of functioning of the corrugated suture: а — before threads tension; б — after threads tension. The digital designations are similar to Fig. 2

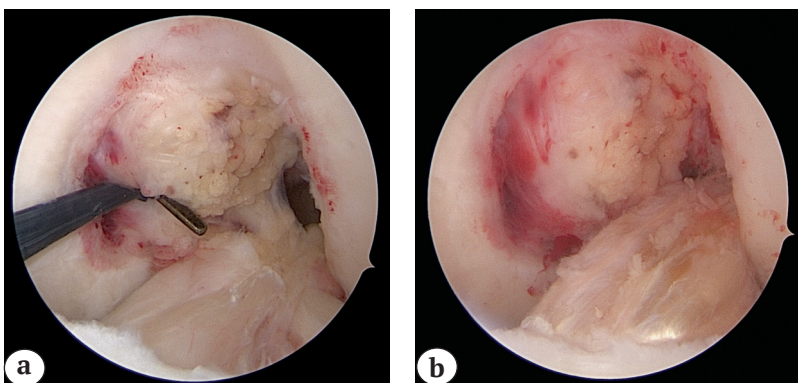


Рис. 6. Фиксация с применением только кортикальных фиксаторов, артроскопическая картина: а — до пластики ПКС; б — после пластики

Fig. 6. Arthroscopic picture of fixation with only cortical fixators: а — before the anterior cruciate ligament grafting; б — after the grafting

Хирургическая техника фиксации без применения гофрирующего шва

У пациентов второй группы забор сухожилия, подготовку трансплантата и формирование тоннелей осуществляли аналогично подготовке в первой группе, но при фиксации не использовали гофрирующие швы.

Реабилитация

Активизацию пациентов начинали в день операции, изометрическое напряжение четырехглавой мышцы бедра разрешали на следующий день. Имобилизация коленного сустава в положении разгибания осуществлялась в течение 2 нед., после чего начинались упражнения со сгибанием в коленном суставе до 90° с закрытой кинематической цепью. Полная опора на оперированную конечность разрешалась через 3 нед. после операции, полное сгибание в коленном суставе — через 5 нед. Бег по прямой разрешался через 3 мес. после восстановления ПКС.

Оценка клинических результатов

Клинические результаты оценивали через 6 мес. после операции по шкалам IKDC (International Knee Documentation Committee) (боль, отек, эпизоды нестабильности и тугоподвижность в коленном суставе, уровень физической активности пациентов) и Lysholm (хромота, субъективное чувство блокады и нестабильности в коленном суставе, боль, отек, возможность присаживания на корточки и ходьбы по ступеням) [16, 17, 18].

Рентгенологическая оценка результатов

Мультиспиральная КТ выполнялась пациентам в амбулаторных условиях через 6 мес. после операции для оценки диаметра бедренного и большеберцового тоннелей. Для этого осуществляли построение сагиттальных и коронарных срезов

с шагом 1 мм вдоль оси бедренного и большеберцового тоннелей и измеряли диаметр тоннелей в области максимального их расширения. Полученные данные сравнивали с диаметром сверла, использованного для формирования костного тоннеля. Диаметр используемого во время операции сверла соответствовал диаметру трансплантата. На рисунке 7 представлены КТ-снимки пациента через 6 мес. после операции. Максимальный диаметр бедренного тоннеля составил 8,19 мм, а большеберцового — 8,00 мм, что сопоставимо с диаметром сверла (8,00 мм), использованного для их формирования.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 10.0 (Statsoft Inc., США). Учитывался характер распределения, проводилась оценка для обеих групп с использованием соответствующих парных критериев (Манна–Уитни), нулевая гипотеза отвергалась при $p < 0,05$. Использовали непараметрический метод Манн–Уитни для малых выборок. Величина критического уровня значимости принималась равной 0,05, различия признавались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Группы исследования были сопоставимы по полу (в первой группе 9 женщин и 18 мужчин, во второй группе — 10 женщин и 20 мужчин) и по возрасту (преимущественно от 20 до 40 лет в обеих группах), а также по шкале Tegner (табл. 1).

Результаты статистической обработки полученных данных в обеих группах приведены в таблице 2. Уровень пороговой статистической значимости в исследуемых группах принимали равным 0,05. Критическое значение U -критерия Манна–Уитни при указанном объеме выборки составило 44 при $U \leq 44, p < 0,05$.

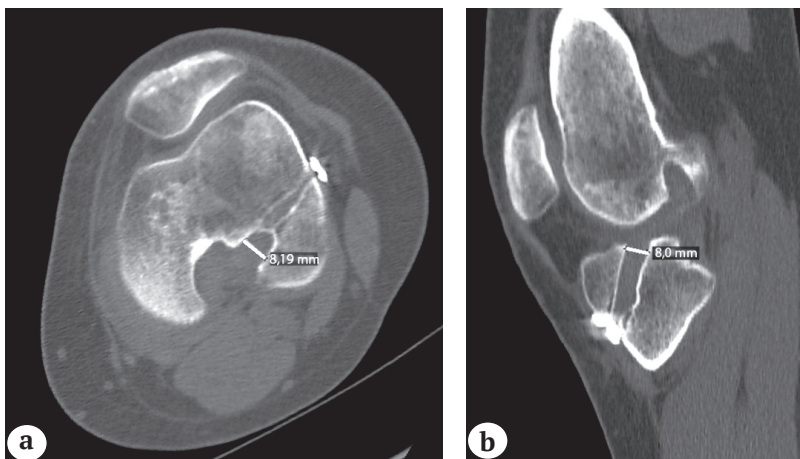


Рис. 7. Данные КТ: срезы костных тоннелей бедренной (а) и большеберцовой (б) костей через 6 мес. после операции

Fig. 7. CT data: images of the femoral bone tunnels (a) and tibial (b) in 6 months after surgery

Таблица 1

Сравнительная характеристика групп пациентов по возрасту

Показатель	Первая группа (n = 27)	Вторая группа (n = 30)
Среднее значение	32,2 (18;51)	33,9 (18;53)
Медиана	31	33,5

Таблица 2

Сравнительная характеристика групп пациентов

Показатель	Первая группа (n = 27)	Вторая группа (n = 30)	U-критерий Манна – Уитни	p
Время, прошедшее от момента травмы до операции, мес.	6,40±2,75	5,6±2,4	48,8	0,38
Время подготовки трансплантата, мин.	30,5±2,3	24,7±2,0	62,3	0,49
Диаметр бедренного тоннеля после операции, мм	8,2±0,5	8,2±0,7	42	0,38
Диаметр большеберцового тоннеля после операции, мм	8,2±0,4	8,2±0,7	43,0	0,24
Увеличение диаметра бедренного тоннеля спустя 6 мес., %	18,2±3,7	29,8±6,8	64,4	0,04
Увеличение диаметра большеберцового тоннеля спустя 6 мес., %	17,0±5,6	31±6	56,6	0,05
IKDC 2000, баллы	89,0±4,7	85,6±4,8	48,0	0,05
Шкала Lysholm, баллы	93,50±4,05	90,8±3,5	49,0	0,03

Локализация костных тоннелей в бедренной и большеберцовой костях в обеих группах сопоставима, так как интраоперационно использовался ЭОП для подтверждения расположения внутрисуставной апертуры тоннелей. При оценке положения бедренного тоннеля с использованием квадрантного метода было выявлено, что у пациентов первой группы он располагался в 37,5±0,7% от заднего края ЛМБК по оси *t* и в 24,8±0,8% от верхнего края медиальной поверхности ЛМБК по оси *h*. В контрольной группе центр бедренного тоннеля находился в 38,0±0,6% от заднего края ЛМБК по оси *t* и в 25,3±0,6% от верхнего края медиальной поверхности ЛМБК по оси *h*. При оценке положения большеберцового тоннеля в сагиттальной плоскости у пациентов первой группы он располагался на 44,0±0,5% кзади от переднего края латерального мыщелка большеберцовой кости, в контрольной группе — на 45,0±0,7%. Обработка результатов исследования не выявила статистически значимых различий в расположении тоннелей между первой и второй группами ($p > 0,05$).

Обсуждение

При анализе полученных результатов и сравнительной оценке парных выборок определяется статистически значимое различие между иссле-

дуемыми группами по критериям степени расширения костных тоннелей и оценочным шкалам спустя 6 мес. после оперативного вмешательства. В группе с использованием гофрирующих швов степень послеоперационного расширения костных тоннелей была существенно ниже (расширение бедренного на 18% от сформированного, большеберцового — на 17%) по сравнению с группой, где использовалась изолированная кортикальная фиксация (расширение бедренного на 30% от сформированного, большеберцового — на 31%). Эти различия играют существенную роль при определении тактики в случае необходимости ревизионной пластики ПКС. Баллы по шкалам оценки IKDC 2000 и Lysholm были выше в группе, где использовался гофрирующий шов, но в обеих группах среднесрочные результаты лечения интерпретированы одинаково как хорошие, что подтверждают исследования, свидетельствующих об отсутствии существенного влияния расширения костных тоннелей на исход лечения [16, 17, 18].

Времени для подготовки трансплантата требовалось в среднем на 6 мин. больше в группе с применением гофрирующего шва, что несущественно увеличивало продолжительность операции.

В исследовании R. Maug с соавторами, посвященном оценке степени расширения костных тоннелей по данным КТ через 6 мес. после пластики ПКС по методике all-inside, приводятся данные о расширении большеберцового костного тоннеля на $17,7 \pm 2,4\%$, а бедренного тоннеля — на $43,2 \pm 3,4\%$ [19]. В нашем исследовании степень расширения обоих костных тоннелей в основной группе через 6 мес. после операции не превышала 18%, что дает основание предполагать более существенное влияние использования гофрирующего шва на профилактику расширения бедренного тоннеля.

К расширению костных каналов приводит комбинация биологических и биомеханических факторов, при этом одним из основных является микроподвижность трансплантата [20]. К причинам, влияющим на степень расширения, относят также тип трансплантата (ауто- или аллотрансплантат, из связки надколенника с костными блоками или из сухожилий подколенных мышц), метод фиксации, степень его натяжения и расположение самих тоннелей [21]. Также потенциальными факторами риска расширения являются молодой возраст (младше 30 лет), мужской пол и время (более 1 года), прошедшее от травмы до пластики ПКС [22].

Для фиксации трансплантата используют различные внутриканальные фиксаторы (винты), кортикальные имплантаты, а также поперечные пины. Биорезорбируемые интерферентные винты имеют ряд преимуществ перед металлическими, например, отсутствие артефактов при выполнении МРТ и теоретически последующая постепенная их резорбция, хотя на практике это случается далеко не всегда. Нередким осложнением при использовании таких фиксаторов является образование костных кист [23]. Это заставляет некоторых хирургов делать выбор в пользу интерферентных, но нерезорбируемых винтов, изготовленных из полиэфирэфиркетона (ПЕЕК) [24]. Уменьшение расстояния между областью фиксации трансплантата и апертурой костного тоннеля обеспечивает уменьшение степени его расширения. Интерферентный винт максимально приближает точку фиксации к апертуре канала, что является его важным преимуществом. Биомеханические исследования показывают, что трансплантат, фиксированный двумя кортикальными пуговицами, менее жесткий и удлиняется больше, чем фиксированный пуговицей на бедренной кости и винтом на большеберцовой [25]. Появление коллагеновых волокон между трансплантатом и стенками костного тоннеля напрямую зависит от зоны контакта между ними. В то же время интерферентные резорбируемые винты ограничивают площадь контакта, так как большая часть тоннеля заполняется самим винтом, в то время как кортикальная фиксация лишена этого недостатка [26].

Использование только кортикальных фиксаторов приводит к подвижности трансплантата в костном канале. С другой стороны, применение интерферентных винтов также способствует расширению тоннелей. В одном из исследований, где сравнивались эти способы фиксации, было выявлено, что расширение происходит и в том, и в другом случае, только при применении винтов это проявляется сразу за счет разрушения винтом пограничной кости, а при кортикальной фиксации расширение появляется в течение первых 6 мес., затем оно уменьшается [27].

Широко известны связанные с использованием кортикальных фиксаторов «эффект подтяжек» и «эффект стеклоочистителя». Под первым феноменом подразумеваются движения трансплантата в канале в продольном направлении за счет относительно большого расстояния между областью фиксации и линией сустава. Второй связан с его движениями в поперечном направлении. Чем больше расстояние между областью фиксации и суставной поверхностью, тем больше степень подвижности трансплантата в тоннеле. Оба эффекта затрудняют интеграцию сухожилия и кости [28].

При пластике ПКС с использованием методики all-inside (кортикальная фиксация на бедренной и большеберцовой костях) расширение бедренного тоннеля наблюдается в большей мере, чем при использовании для этой цели интерферентных винтов [29].

Применение в качестве фиксаторов поперечных идущих пинов также не лишено осложнений, таких как поломка и миграция, синдром илиотибиального тракта, стрессовый перелом бедренной кости [30, 31]. Более того, при использовании биодеградируемых пинов описаны случаи образования костных кист [32].

Идея плотной внутриканальной фиксации и максимальной площади контакта между трансплантатом и стенками костных тоннелей легла в основу предложенного нами метода фиксации трансплантата с использованием комбинации кортикальной фиксации и гофрирующих швов.

Предпринято множество попыток уменьшить степень расширения костных тоннелей за счет увеличения продолжительности иммобилизации коленного сустава, применения особых техник рассверливания, внутриканальной установки цилиндров из губчатой кости до применения альфа-2-макроглобулина и малодифференцированных клеток надкостницы. Тем не менее, вопрос профилактики расширения костных тоннелей после пластики ПКС остается открытым [33].

В разработанной нами методике соединены биомеханические преимущества внутриканальной фиксации трансплантата, такие как плотный

контакт с костными стенками и максимальное приближение точки фиксации к внутрисуставной апертуре тоннелей, с биологичностью кортикальной фиксации за счет отсутствия инородных материалов в тоннелях и максимальной площади контакта сухожилия со стенками канала. Методика фиксации аутотрансплантата из СПМ с использованием гофрирующих швов при пластике ПКС позволяет обеспечить плотный контакт сухожилия внутри костных тоннелей без применения дополнительных имплантатов и снизить степень их расширения, что играет важную роль в случае необходимости ревизионной пластики ПКС.

Этика

Исследование получило одобрение Комитета по биомедицинской этике ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы» (протокол № 4-17 от 29 мая 2017 г.)

Пациенты дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Конфликт интересов: не заявлен.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Вклад авторов

Сластинин В.В. — разработка концепции и дизайна исследования, проведение исследования и выполнение хирургических операций, сбор и обработка материала, интерпретация и анализ полученных данных, подготовка текста.

Ярыгин Н.В. — координация участников исследования, редактирование.

Паршиков М.В. — координация участников исследования, редактирование.

Файн А.М. — координация участников исследования, редактирование.

Сычевский М.В. — сбор и обработка материала, проведение исследований.

Говоров М.В. — интерпретация и анализ полученных данных, статистическая обработка полученных данных, подготовка текста.

Литература [References]

- Chen C.H. Strategies to enhance tendon graft-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Chang Gung Med J.* 2009;32(5):483-493.
- Celik H., Lee D.H. Comparison of the aperture and midportion femoral tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(26):e16121. doi: 10.1097/MD.00000000000016121.
- Zhang Q., Zhang S., Cao X., Liu L., Liu Y., Li R. The effect of remnant preservation on tibial tunnel enlargement in ACL reconstruction with hamstring autograft: a prospective randomized controlled trial. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(1):166-173. doi: 10.1007/s00167-012-2341-7.
- Rodeo S.A., Kawamura S., Kim H.J., Dymybil C., Ying L. Tendon healing in a bone tunnel differs at the tunnel entrance versus the tunnel exit: an effect of graft-tunnel motion? *Am J Sports Med.* 2006;34(11):1790-800. doi: 10.1177/0363546506290059.
- Chen B.C., Sun R., Wang X.F., Shao D.C., Lu B., Chen J.Q. [The incidence and variation of tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2007;45(2):78-81. (In Chinese).
- Pereira H., Corrello V.M., Silva-Correia J., Oliveira J.M., Reis R.L., Espregueira-Mendes J. Migration of «bioabsorbable» screws in ACL repair. How much do we know? A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):986-994. doi: 10.1007/s00167-013-2414-2.
- Lubowitz J.H. All-inside anterior cruciate ligament graft link: graft preparation technique. *Arthrosc Tech.* 2012;1(2):e165-168. doi: 10.1016/j.eats.2012.06.002.
- Smith P.A., Stannard J.P., Pfeiffer F.M., Kuroki K., Bozynski C.C., Cook J.L. Suspensory Versus Interference Screw Fixation for Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Translational Large-Animal Model. *Arthroscopy.* 2016;32(6):1086-1097. doi: 10.1016/j.arthro.2015.11.026.
- Tegner Y., Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;(198):43-49.
- Сластинин В.В., Ярыгин Н.В., Паршиков М.В., Сычевский М.В., Файн А.М. Модификация способа подготовки и установки четырехпучкового аутотрансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы при пластике передней крестообразной связки. *Гений ортопедии.* 2019;25(3):277-284. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-277-284.
- Сластинин В.В., Ярыгин Н.В., Паршиков М.В., Сычевский М.В., Файн А.М. [Modified technique for preparation and placement of quadrupled semitendinosus autograft in anterior cruciate ligament reconstruction]. *Genij Ortopedii.* 2019;25(3):277-284. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-277-284.
- Badran M.A., Moemen D.M. Hamstring graft bacterial contamination during anterior cruciate ligament reconstruction: clinical and microbiological study. *Int Orthop.* 2016;40(9):1899-1903. doi: 10.1007/s00264-016-3168-5.
- Bernard M., Hertel P., Hornung H., Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg.* 1997;10(1):14-21.
- Mochizuki Y., Kaneko T., Kawahara K., Toyoda S., Kono N., Hada M. et al. The quadrant method measuring four points is as a reliable and accurate as the quadrant method in the evaluation after anatomical double-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(8):2389-2394. doi: 10.1007/s00167-017-4797-y.
- Amis A.A., Jakob R.P. Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6 Suppl 1:S2-12. doi: 10.1007/s001670050215.
- Kumar S., Kumar A., Kumar R. Accurate Positioning of Femoral and Tibial Tunnels in Single Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using the Indigenously Made Bernard and Hurtle Grid on a Transparency Sheet and C-arm. *Arthrosc Tech.* 2017;6(3):e757-e761. doi:10.1016/j.eats.2017.02.005.
- Lysholm J., Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med.* 1982;10(3):150-154.

17. Магнитская Н.Е., Рязанцев М.С., Майсигов М.Н., Логвинов А.Н., Зарипов А.Р., Королев А.В. Перевод, валидация и культурная адаптация ортопедического опросника IKDC 2000 subjective knee form для оценки состояния коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2019;25(3):348-354. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-348-354. Magnitskaya N.E., Ryazantsev M.S., Maisigov M.N., Logvinov A.N., Zaripov A.R., Korolev A.V. [Translation, validation and cultural adaptation of orthopaedic questionnaire IKDC 2000 subjective knee function]. *Genij Ortopedii*. 2019;25(3):348-354. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-348-354.
18. Collins N.J., Misra D., Felson D.T., Crossley K.M., Roos E.M. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011;63 Suppl 11:208-228. doi: 10.1002/acr.20632.
19. Mayr R., Smekal V., Koidl C., Coppola C., Fritz J., Rudisch A. et al. Tunnel widening after ACL reconstruction with aperture screw fixation or all-inside reconstruction with suspensory cortical button fixation: Volumetric measurements on CT and MRI scans. *Knee*. 2017;24(5):1047-1054. doi: 10.1016/j.knee.2017.06.007.
20. Sabzevari S., Rahnama-Azar A.A., Shaikh H.S., Arner J.W., Irrgang J.J., Fu F.H. Increased lateral tibial posterior slope is related to tibial tunnel widening after primary ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(12):3906-3913. doi: 10.1007/s00167-017-4435-8.
21. DeFroda S.F., Karamchedu N.P., Owens B.D., Bokshan S.L., Sullivan K., Fadale P.D. et al. Tibial tunnel widening following anterior cruciate ligament reconstruction: A retrospective seven-year study evaluating the effects of initial graft tensioning and graft selection. *Knee*. 2018;25(6):1107-1114. doi: 10.1016/j.knee.2018.08.003.
22. Weber A.E., Delos D., Oltean H.N., Vadasdi K., Cavanaugh J., Potter H.G., Rodeo S.A. Tibial and Femoral Tunnel Changes After ACL Reconstruction: A Prospective 2-Year Longitudinal MRI Study. *Am J Sports Med*. 2015;43(5):1147-1156. doi: 10.1177/0363546515570461.
23. Chevallier R., Klouche S., Gerometta A., Bohu Y., Herman S., Lefevre N. Bioabsorbable screws, whatever the composition, can result in symptomatic intraosseous tibial tunnel cysts after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(1):76-85. doi: 10.1007/s00167-018-5037-9.
24. Shumborski S., Heath E., Salmon L.J., Roe J.P., Linklater J.P., Facek M., Pinczewski L.A. A Randomized Controlled Trial of PEEK Versus Titanium Interference Screws for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With 2-Year Follow-up. *Am J Sports Med*. 2019;47(10):2386-2393. doi: 10.1177/0363546519861530.
25. Mayr R., Heinrichs C.H., Eichinger M., Coppola C., Schmoelz W., Attal R. Biomechanical comparison of 2 anterior cruciate ligament graft preparation techniques for tibial fixation: adjustable-length loop cortical button or interference screw. *Am J Sports Med*. 2015;43(6):1380-1385. doi: 10.1177/0363546515574062.
26. Colombet P., Graveleau N., Jambou S. Incorporation of Hamstring Grafts Within the Tibial Tunnel After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Magnetic Resonance Imaging of Suspensory Fixation Versus Interference Screws. *Am J Sports Med*. 2016;44(11):2838-2845. doi: 10.1177/0363546516656181.
27. Buelow J.U., Siebold R., Ellermann A. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2002;10(2):80-85. doi: 10.1007/s00167-001-0267-6.
28. Stolarz M., Ficek K., Binkowski M., Wróbel Z. Bone tunnel enlargement following hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review. *Phys Sportsmed*. 2016;45(1):31-40. doi: 10.1080/00913847.2017.1253429.
29. Mayr R., Smekal V., Koidl C., Coppola C., Fritz J., Rudisch A. et al. Tunnel widening after ACL reconstruction with aperture screw fixation or all-inside reconstruction with suspensory cortical button fixation: Volumetric measurements on CT and MRI scans. *Knee*. 2017;24(5):1047-1054. doi: 10.1016/j.knee.2017.06.007.
30. Choi N.H., Son K.M., Victoroff B.N. A pitfall of transfix fixation during anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;16(5):479-481. doi: 10.1007/s00167-008-0489-y.
31. Vecchini E., Micheloni G.M., Corbo V.R., Perusi F., Dib G., Magnan B. A complication following ACL reconstruction using bioabsorbable cross-pins. *Acta Biomed*. 2016;87 Suppl 1:122-126.
32. Ahn J.H., Lee Y.S., Choi S.H., Chang M.J., Lee D.K. Single-bundle transtibial posterior cruciate ligament reconstruction using a bioabsorbable cross-pin tibial back side fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(5):1023-1028. doi: 10.1007/s00167-011-1769-5.
33. Сластикин В.В., Файн А.М., Ваза А.Ю. Расширение костных тоннелей после аутопластики передней крестообразной связки трансплантатами из сухожилий подколенных мышц (обзор литературы). *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2017;6(3):233-237. doi: 10.23934/2223-9022-2017-6-3-233-237. Slastinin V.V., Fain A.M., Vaza A.Y. [Bone tunnel widening after anterior cruciate ligament autoplasty with hamstrings (literature review)]. [Russian Sklifosovsky Journal «Emergency Medical Care»]. 2017;6(3):233-237. (In Russian). doi: 10.23934/2223-9022-2017-6-3-233-237.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сластикин Владимир Викторович — врач травматолог-ортопед, Клинический медицинский центр «Кусково»; ассистент кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва

AUTHORS' INFORMATION:

Vladimir V. Slastinin — Orthopaedic Surgeon, Kuskovo University Clinic; Assistant, Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Medicine, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

Ярыгин Николай Владимирович — д-р мед. наук, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и медицины катастроф, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва

Паршиков Михаил Викторович — д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва

Файн Алексей Максимович — д-р мед. наук, заведующий научным отделом неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ здравоохранения г. Москвы», Москва

Сычевский Михаил Витальевич — канд. мед. наук, заведующий отделением травматологии и ортопедии, Клинический медицинский центр «Кусково», ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва

Говоров Михаил Владимирович — ассистент кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва

Nikolai V. Yarygin — Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of RAS, Professor, Head of the Traumatology, Orthopedics and Disaster Medicine Chair, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

Mikhail V. Parshikov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Medicine, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

Aleksei M. Fain — Dr. Sci. (Med.), Head of the Orthopaedic Department, N.V. Sklifosovskiy Scientific Research Institute, Moscow, Russian Federation

Mikhail V. Sychevsky — Cand. Sci. (Med.), Head of the Orthopaedic Department, Kuskovo University Clinic, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

Mikhail V. Govorov — Assistant, Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Medicine, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation