

## Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки различными способами с применением свободных и несвободных аутотрансплантатов

Г.П. Котельников, Н.Д. Щербатов, Д.С. Кудашев, С.Д. Зуев-Ратников

ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Самара, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Несмотря на широкое применение аутопластики передней крестообразной связки (ПКС), сохраняется потребность в совершенствовании методик, направленных на улучшение остеоинтеграции трансплантата, снижение воспалительной реакции и профилактику расширения костных тоннелей. Особый интерес представляют технологии с сохранением тиббиального прикрепления и культи ПКС. Их сравнительная оценка на основе объективных функциональных и морфологических показателей требует систематизированного анализа.

**Цель исследования** — провести сравнительный анализ ближайших и ранних результатов применения различных способов реконструкции передней крестообразной связки.

**Материал и методы.** В исследование включены 112 пациентов, стратифицированных на четыре группы по типу выполняемой операции: D — свободный трансплантат; N — несвободный трансплантат; D+S — свободный трансплантат с сохранением культи; N+S — несвободный трансплантат с сохранением культи. Оценка результатов проводилась в сроки 6 и 12 мес. после операции с использованием шкал Lysholm, IKDC, KOOS, а также по данным MPT (индекс SNQ) и МСКТ (расширение костных тоннелей). Применялись методы одно- и многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, MANOVA) и PCA.

**Результаты.** Сравнительный анализ показал статистически значимые различия между группами по всем исследуемым показателям ( $p < 0,05$ ) по данным ANOVA-теста. Наилучшие функциональные результаты по шкалам Lysholm, KOOS и IKDC, а также морфологические показатели (индекс SNQ и степень расширения костных каналов) зафиксированы в группе N+S. MANOVA и PCA показали пространственное разделение групп с выраженным кластером пациентов группы N+S, отражающим преимущество данной техники. Различия между группами статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

**Заключение.** Полученные данные позволяют утверждать, что применение несвободных трансплантатов в сочетании с техникой сохранения культи передней крестообразной связки обладает значительным потенциалом в плане улучшения результатов хирургического лечения нестабильности коленного сустава. В то же время для окончательной верификации выявленных закономерностей требуется проведение широкомасштабных рандомизированных исследований с пролонгированным периодом наблюдения.

**Ключевые слова:** передняя крестообразная связка; ПКС; разрыв ПКС; несвободный трансплантат; сохранение культи ПКС.

**Для цитирования:** Котельников Г.П., Щербатов Н.Д., Кудашев Д.С., Зуев-Ратников С.Д. Сравнительный анализ результатов реконструкции передней крестообразной связки различными способами с применением свободных и несвободных аутотрансплантатов. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(3):50-60. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17725>.

Щербатов Никита Дмитриевич; e-mail: niksherbatov@mail.ru

Рукопись получена: 30.06.2025. Рукопись одобрена: 30.07.2025. Статья опубликована онлайн: 14.08.2025.

© Котельников Г.П., Щербатов Н.Д., Кудашев Д.С., Зуев-Ратников С.Д., 2025

## Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Detached and Non-Detached Autografts: Comparative Analysis

Gennadiy P. Kotelnikov, Nikita D. Shcherbatov, Dmitry S. Kudashev, Sergey D. Zuev-Ratnikov

Samara State Medical University, Samara, Russia

### Abstract

**Background.** Despite the widespread use of autograft techniques for anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction, there remains a need to improve surgical methods aimed at enhancing graft osseointegration, reducing inflammatory responses, and preventing bone tunnel widening. Particular attention has been drawn to techniques that preserve the tibial insertion and ACL remnant. A systematic comparison of these approaches based on objective functional and morphological parameters is necessary.

**The aim of the study** — to conduct a comparative analysis of short-term and early outcomes of different anterior cruciate ligament reconstruction techniques.

**Methods.** The study included 112 patients stratified into four groups based on the type of ACL reconstruction performed: D — detached graft; N — non-detached graft; D+S — detached graft with remnant preservation; N+S — non-detached graft with remnant preservation. Clinical outcomes were evaluated at 6 and 12 months using the Lysholm score, IKDC, and KOOS, as well as MRI-based Signal-to-Noise Quotient (SNQ) and CT-based bone tunnel widening. Statistical analysis included one-way and multivariate ANOVA (MANOVA), as well as Principal Component Analysis (PCA).

**Results.** The comparative analysis revealed statistically significant differences between the groups across all evaluated parameters ( $p < 0.05$ ), according to the ANOVA test. The best functional outcomes (Lysholm, KOOS, IKDC) and morphological indicators (SNQ ratio, bone tunnel widening) were observed in the N+S group. MANOVA and PCA confirmed spatial separation of groups, with a distinct cluster formed by N+S patients, indicating the superiority of this technique. All intergroup differences were statistically significant ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion.** The results suggest that the use of non-detached autografts in combination with preservation of anterior cruciate ligament remnant offers substantial potential for improving surgical outcomes in knee joint instability. However, large-scale randomized trials with long-term follow-up are needed to confirm these findings.

**Keywords:** anterior cruciate ligament; ACL; ACL rupture; non-detached graft; ACL remnant preservation.

**Cite as:** Kotelnikov G.P., Shcherbatov N.D., Kudashev D.S., Zuev-Ratnikov S.D. Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Detached and Non-Detached Autografts: Comparative Analysis. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(3):50-60. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17725>.

✉ Nikita D. Shcherbatov; e-mail: [niksherbatov@mail.ru](mailto:niksherbatov@mail.ru)

Submitted: 30.06.2025. Accepted: 30.07.2025. Published online: 14.08.2025.

## ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава является одним из наиболее распространенных хирургических вмешательств в современной ортопедии, направленных на коррекцию передне медиальной нестабильности коленного сустава [1, 2, 3, 4]. Несмотря на значительный прогресс в методологии и реконструктивной хирургии ПКС, техниках операций и применяющихся пластических материалах, актуальной остается проблема достижения наилучших клиничко-функциональных результатов, прогнозируемых в долгосрочной перспективе [5, 6]. Традиционная методика аутопластики с применением свободного сухожильного трансплантата группы hamstring (detached hamstring tendon — DHT) зачастую сопряжена с недостаточной степенью биологической интеграции трансплантата, выраженным расширением костных тоннелей и вариабельностью клинических результатов, которые не всегда удовлетворяют пациентов и хирургов [7, 8].

В последние годы значительный интерес исследователей вызывают инновационные подходы, предполагающие сохранение культы ПКС (методика Single Antero-Medial Bundle Biological Augmentation — SAMBBA) и использование не-свободного аутооттрансплантата (non-detached hamstring tendon — NDHT), сохраняющие анатомические точки прикрепления сухожилий [9, 10, 11, 12]. Данные подходы должны способствовать улучшению кровоснабжения, ускорению процессов неолигаментизации и оптимизации интеграции трансплантата, о чем свидетельствуют данные ранних доклинических и клинических наблюдений, проведенных в рамках независимых исследований [13, 14, 15, 16]. Тем не менее на сегодняшний день остается недостаточным количество сравнительных исследований, позволяющих объективно оценить долгосрочные результаты и возможные ограничения указанных хирургических методик.

*Цель исследования* — провести сравнительный анализ ближайших и ранних результатов применения различных способов реконструкции передней крестообразной связки.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Проведено проспективное одноцентровое неослепленное рандомизированное клиническое исследование в параллельных группах. Дизайн был разработан в соответствии с рекомендациями CONSORT 2010 (CONsolidated Standards of Reporting Trials). Исследование проводили на базе травматолого-ортопедического отделения № 2 Клиник СамГМУ в период с 2023 по 2024 г. В рамках иссле-

дования была проведена оценка результатов лечения 121 пациента с повреждением ПКС.

*Критерии включения:* возраст 18 лет и старше; повреждение ПКС любой давности, подтвержденное клиническим осмотром и результатами МРТ-исследования; сохраненная культя ПКС, верифицированная по данным МРТ.

*Критерии не включения:* сопутствующее повреждение связочных структур коленного сустава (задней крестообразной, медиальной и латеральной коллатеральной связок) с наличием нестабильности; остеоартроз коленного сустава III–IV стадии по Kellgren–Lawrence; избыточная масса тела пациента ( $ИМТ \geq 35 \text{ кг/м}^2$ ); трофические нарушения и/или гнойно-воспалительные процессы в области исследуемого коленного сустава.

*Критериями исключения* из исследования были: отсутствие культы ПКС при артроскопии, низкая комплаентность пациента во время исследования и несоблюдение предписанных рекомендаций.

Все пациенты на первичном приеме врача травматолога-ортопеда были заранее ознакомлены с вариантами лечения, проинформированы о потенциальных рисках и возможных исходах операции.

### Пациенты

Изначально в исследование был включен 121 пациент, однако 9 пациентов (7,4%) были исключены: 8 (6,6%) — в связи с отсутствием культы ПКС, выявленным интраоперационно, 1 (0,8%) — из-за низкой комплаентности и несоблюдения рекомендаций в процессе послеоперационной реабилитации. В результате окончательный анализ был проведен на выборке из 112 пациентов (92,6% от исходного числа). Посредством послойной стратифицированной рандомизации пациенты были распределены на четыре группы по 28 человек. В каждой группе в качестве оперативного лечения применяли различные способы реконструкции ПКС.

Пациентам первой группы (D) хирургическое вмешательство осуществляли по стандартной методике с использованием дубликатуры свободного аутооттрансплантата (DHT) из сухожилий ST (*semitendinosus* — полусухожильная) и G (*gracilis* — тонкая) мышц и удалением остатка культы ПКС.

Во второй группе (N) при реконструкции ПКС у аутооттрансплантата ST и G оставляли большеберцовое место прикрепления сухожилий (NDHT), но также как и в первой группе проводили удаление культы ПКС.

У пациентов третьей группы (D+S) аутооттрансплантат формировали свободным (DHT) и дополнительно использовали технику SAMBBA, которая подразумевает сохранение остатка (культы) передне медиального пучка ПКС с усилением его аутооттрансплантатом.

Пациентам четвертой группы (N+S) ауто-трансплантат оставляли несвободным (NDHT) и также дополнительно применяли технику SAMBBA.

Из 112 пациентов было 72 (64,3%) мужчины и 40 (35,7%) женщин. Средний возраст пациентов составил  $30,5 \pm 9,3$  года, варьируя в диапазоне от 18 до 45 лет. Повреждение ПКС левого коленного сустава

было отмечено у 52 (46,4%) пациентов, правого — у 60 (53,6%) пациентов (соотношение левый/правый — 1:1,15). Средний срок от момента травмы до оперативного вмешательства составил  $6,0 \pm 1,4$  мес. (табл. 1).

Статистически значимых различий по возрасту, полу и сроку с момента травмы между группами не было выявлено ( $p > 0,05$ ).

Таблица 1

Стратифицированная рандомизация пациентов по группам

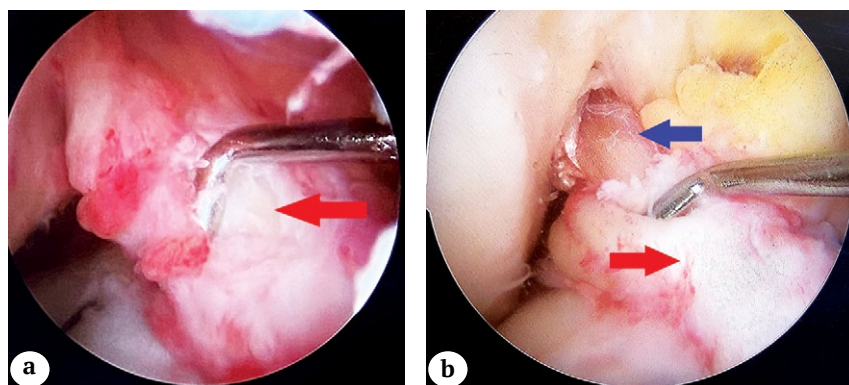
Группа	Число пациентов	Пол (м/ж)	Возраст, лет (M $\pm$ SD)	Сторона повреждения (прав./лев.)	Срок от травмы до операции, мес. (M $\pm$ SD)
D	28	18/10	28,0 $\pm$ 9,2	16/12	6,1 $\pm$ 1,4
N	28	17/11	31,0 $\pm$ 8,9	15/13	5,9 $\pm$ 1,6
D+S	28	18/10	29,0 $\pm$ 9,5	16/12	6,2 $\pm$ 1,5
N+S	28	19/9	32,0 $\pm$ 8,7	16/12	6,0 $\pm$ 1,3

По данным ANOVA-теста различия между группами по полу статистически незначимы ( $p = 0,9597$ ), по возрасту — на грани значимости ( $p = 0,0547$ ), по стороне повреждения ( $p = 0,9912$ ) и сроку от травмы до операции ( $p = 0,3019$ ) статистически незначимы.

### Техника операции

Артроскопическую реконструкцию ПКС выполняли под спинальной анестезией из стандартных доступов. Первым этапом проводили диагностическую артроскопию, в ходе которой осуществляли осмотр культи ПКС и внутрисуставных структур. Далее выполняли необходимые лечебные мероприятия, такие как артролиз, дебридмент и резекция поврежденного(-ых) мениска(-ов). На следующих этапах формировали костные каналы с ориентацией на анатомические точки прикрепления нативной ПКС. Точку для внутренней апертуры бедренного тоннеля определяли с ориентацией на линию Blumensaat и латеральный

межмышцелковый гребень («гребень резидента») при помощи офсетного направителя, входящего в стандартный набор инструментария для выполнения реконструкции ПКС. Фиксацию бедренной части аутотрансплантата осуществляли накостной пуговицей ULTRABUTTON Adjustable Fixation Device (Smith & Nephew); в большеберцовом канале аутотрансплантат фиксировали биодеградируемым интерферентным винтом BIOSURE REGENSORB (Smith & Nephew). Артроскопическая картина сохраненной культи ПКС и проведенного аутотрансплантата представлена на рисунке 1. Послеоперационный протокол у пациентов всех четырех групп был идентичным.



**Рисунок 1.** Артроскопическая картина:  
а — культя ПКС (указана красной стрелкой);  
б — фиксированный аутотрансплантат (указан синей стрелкой) с культей ПКС

**Figure 1.** Arthroscopic view:  
a — ACL remnant (indicated by the red arrow);  
b — fixed autograft (indicated by the blue arrow) with preserved ACL remnant

### Методы оценки

Оценку результатов проводили через 6 и 12 мес. на основе как клинических, так и инструментальных методов. Для анализа функционального состояния коленного сустава использовали валидированные

клинические шкалы — Lysholm, IKDC Subjective Knee Evaluation Form и KOOS (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score) [17, 18, 19]. Опросники пациенты заполняли на следующих сроках: до операции, через 6 и 12 мес. после операции.



Инструментальную оценку интеграции трансплантата и костных изменений в области трансплантата проводили по результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ) и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).

На сроках 6 и 12 мес. после операции выполняли МРТ для расчета показателя SNQ (Signal-to-Noise Quotient) по стандартной формуле:

$$\text{SNQ} = (\text{SI трансплантата} - \text{SI задней крестообразной связки}) / \text{SD фоновой области},$$

где SI — интенсивность сигнала, SD — стандартное отклонение сигнала в фоновой области (в мышечной ткани бедра). Также на МРТ особое внимание уделяли корректности расположения костных тоннелей и динамике ремоделирования трансплантата (рис. 2).

Кроме того, выполняли МСКТ для количественной оценки расширения костных каналов бедренной и большеберцовой локализаций, выраженной в процентах по сравнению с исходным диаметром сверления.



**Рисунок 2.** МРТ-изображения через 6 мес. после реконструкции ПКС:  
а — расположение бедренного тоннеля (PDE\_TSE\_SPIR режим);  
б — расположение большеберцового тоннеля (STIR\_longTE режим);  
с — внутрисуставная часть ауто трансплантата ПКС (STIR\_longTE режим)

**Figure 2.** MRI images 6 months after ACL reconstruction:  
a — position of the femoral tunnel (PDE\_TSE\_SPIR sequence);  
b — position of the tibial tunnel (STIR\_longTE sequence);  
c — intra-articular portion of the ACL autograft (STIR\_longTE sequence)

### Статистический анализ

Для анализа динамики показателей во времени (6 и 12 мес.) использовали двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated Measures ANOVA), позволяющий учитывать как межгрупповые различия, так и внутригрупповые изменения во времени. Межгрупповые различия по совокупности клинико-инструментальных показателей анализировали с использованием MANOVA и последующим применением PCA. Перед проведением дисперсионного анализа (ANOVA, MANOVA) проверяли количественные показатели на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро–Уилка. В случае выявления отклонений от нормальности для отдельных переменных дополнительно применяли непараметрические методы (Краскела–Уоллиса). Для описания структуры выборки использовали медиану (Me) и межквартильный размах [ $Q_1$ ;  $Q_3$ ]. Апостериорный анализ мощности (post-hoc power analysis) проведен с расчетом на основе выборки

4 групп по 28 человек, при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и величине эффекта  $f = 0,40$ , мощность исследования составила 0,94, что соответствует высокому уровню достоверности.

Анализ данных был выполнен в IBM SPSS Statistics версии 25.0, графики построены в GraphPad Prism 9.0. При  $p < 0,05$  различия считались статистически значимыми.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

На протяжении всего периода наблюдения отмечалось улучшение клинических и инструментальных показателей во всех четырех группах, однако степень восстановления существенно варьировала в зависимости от применяемого способа реконструкции ПКС.

На основании проведенного анализа установлены достоверные различия между группами по всем перечисленным показателям как через 6 (табл. 2), так и через 12 мес. наблюдения (табл. 3).

Таблица 2

**Сравнительная динамика клинических и инструментальных показателей  
в группах исследования на сроке 6 мес. после реконструкции ПКС, Ме [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>], (min-max)**

Показатели	Результаты			
	D (n = 28)	N (n = 28)	D+S (n = 28)	N+S (n = 28)
Lysholm, баллы	79 [77; 80], (71–89)	82 [80; 84], (75–88)	83 [80; 85], (77–89)	88 [86; 90], (82–92)
IKDC, баллы	74 [71; 77], (64–89)	78 [75; 81], (68–88)	83 [82; 86], (78–87)	89 [88; 91], (84–93)
KOOS, баллы	74 [68; 78], (66–79)	81 [74; 84], (72–85)	74 [72; 83], (71–85)	83 [80; 89], (78–92)
Индекс SNQ	8,5 [7,9; 9,1], (7,4–10,2)	7,6 [6,8; 8,1], (6,0–8,9)	6,8 [6,4; 7,2], (4,4–9,3)	5,8 [5,3; 6,3], (4,2–8,5)
Расширение костных тоннелей, %	31,2 [31,1; 31,3], (31,0–31,5)	26,5 [26,5; 26,6], (26,3–26,8)	25,7 [25,6; 25,8], (25,5–26,0)	20,8 [20,8; 20,9], (20,6–21,0)

$p < 0,05$  по данным ANOVA-теста.

Таблица 3

**Сравнительная динамика клинических и инструментальных показателей  
в группах исследования на сроке 12 мес. после реконструкции ПКС, Ме [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>], (min-max)**

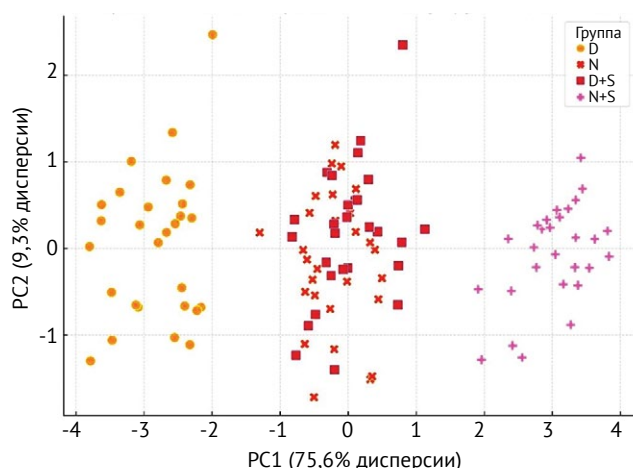
Показатели	Результаты			
	D (n = 28)	N (n = 28)	D+S (n = 28)	N+S (n = 28)
Lysholm, баллы	86 [83; 88], (79–92)	90 [87; 93], (84–96)	91 [89; 93], (85–96)	96 [95; 98], (94–100)
IKDC, баллы	81 [77; 85], (72–91)	85 [81; 88], (75–94)	89 [87; 92], (81–97)	94 [91; 96], (89–100)
KOOS, баллы	78 [75; 82], (68–88)	84 [81; 89], (74–94)	91 [89; 93], (82–98)	96 [94; 98], (88–100)
Индекс SNQ	8,5 [7,9; 9,1], (7,4–10,2)	7,6 [6,8; 8,1], (6,0–8,9)	6,8 [6,4; 7,2], (4,4–9,3)	5,8 [5,3; 6,3], (4,2–8,5)
Расширение костных тоннелей, %	31,2 [31,1; 31,3], (31,0–31,5)	26,5 [26,5; 26,6], (26,3–26,8)	25,7 [25,6; 25,8], (25,5–26,0)	20,8 [20,8; 20,9], (20,6–21,0)

$p < 0,05$  по данным ANOVA-теста.

Через 6 мес. наиболее высокие функциональные показатели (Lysholm, IKDC, KOOS) и лучшие инструментальные результаты (минимальный индекс SNQ и расширение костных тоннелей) отмечены у пациентов группы N+S. Минимальные значения — в группе D. К 12 мес. преимущество группы N+S сохраняется по всем клиническим и морфологическим критериям: максимально высокие значения шкал Lysholm, IKDC, KOOS и минимальные SNQ и PKT. Наихудшие результаты — в группе D. Наибольшие значения функциональных шкал и наименьшие значения SNQ и расширения тоннелей были зафиксированы в группе несвободного трансплантата с сохранением культи (N+S). Минимальные результаты наблюдались в группе D (свободный трансплантат без сохранения культи), что подтверждено статистически значимыми различиями ( $p < 0,05$ ) при попарном сравнении с группами N, D+S и N+S.

Полученная двумерная проекция на плоскости первых двух главных компонент, объясняющих основную долю дисперсии в данных (PC1: 75,6%, PC2: 9,3%), позволила визуализировать пространственное распределение клинических групп в мультипараметрическом контексте.

На PCA-проекции MANOVA наблюдали четкое расслоение точек, соответствующих пациентам из различных групп, особенно выраженное у пациентов группы N+S (несвободный трансплантат + сохранение культи), которые формировали отдельный кластер, удаленный от остальных (рис. 3). Это указывало на высокую степень обособленности данной группы по совокупности клинических признаков (Lysholm, KOOS, индекс SNQ) как через 6, так и через 12 мес. после операции. Группы D и D+S демонстрировали частичное перекрытие, тогда как группа N расположена между ними и группой N+S, отражая промежуточные значения.



**Рисунок 3.** PCA-проекция MANOVA: кластеризация групп по совокупности клиническо-инструментальных показателей

**Figure 3.** PCA projection of MANOVA: clustering of groups based on combined clinical and instrumental indicators

Наблюдавшаяся в PCA-кластере пространственная дифференциация между группами подтверждала, что клинические особенности, такие как скорость восстановления функции коленного сустава, субъективная оценка качества жизни и степень интеграции трансплантата, имели закономерное распределение в зависимости от использованной методики. Это подчеркнуло практическую значимость мультивариантного анализа для прогностической стратификации пациентов и персонализации хирургической тактики.

PCA-проекция демонстрирует, что модифицированные хирургические способы (особенно в группе N+S) приводят к качественно отличающимся траекториям восстановления, что дополнительно верифицировано статистически значимыми различиями по данным MANOVA ( $p < 0,001$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Оперативное восстановление ПКС продолжает рассматриваться как предпочтительный метод лечения антеромедиальной нестабильности коленного сустава [20, 21, 22]. Однако, несмотря на широкую распространенность традиционной методики с использованием свободных аутооттрансплантатов, в последние годы активно развивается направление, ориентированное на биологическое сохранение анатомических структур, включая остаток культи ПКС и тиббиальное прикрепление сухожилий [23, 24, 25]. Это связано с необходимостью приближения результатов к анатомическим и функциональным характеристикам интактной связки при одновременном снижении частоты осложнений и улучшении инкорпорации трансплантата в тканевые структуры [26, 27, 28, 29].

По данным литературы, несвободные трансплантаты, сохраняющие естественное место прикрепления сухожилий (NDHT), демонстрируют более благоприятные показатели по сравнению со свободными (DHT). Так, N. Vari с соавторами продемонстрировали, что использование несвободного трансплантата способствует более надежному восстановлению стабильности коленного сустава, по сравнению с классическими методами, и меньшую частоту повторных разрывов при сопоставимых функциональных исходах [30]. Исследование A. Grassi с соавторами, основанное на магнитно-резонансной визуализации, выявило выраженные преимущества NDHT в аспекте тканевой лигаментизации трансплантата: в группе NDHT авторы наблюдали более низкие значения SNQ, меньшую отечность трансплантата и меньшее расширение каналов через 4 и 18 мес. после операции [31]. Согласно данным A. Ruffilli с соавторами, сохраненное место естественного прикрепления сухожилий способствует ускоренной лигаментизации и формированию структурной непрерывности трансплантата, улучшая заживление и ранний функциональный результат [32].

Наряду с этим методика SAMBBA, предполагающая сохранение культи ПКС, позволяет не только улучшить биомеханику трансплантата, но и способствует более эффективной интеграции за счет сохранения сосудистого и синовиального покрытия. Исследования Y. Zhang с соавторами и B.I. Lee с соавторами показали, что сохранение культи ПКС способствует снижению расширения костных тоннелей и снижению интенсивности сигнала трансплантата на МРТ, интерпретируемое как признак его морфофункционального созревания в поздние сроки наблюдения [33, 34]. Работа G.Y. Ahn с соавторами также показала, что добавление биологического усиления в виде сохраненной культи улучшает клинические и инструментальные результаты [35].

Результаты настоящего исследования согласуются с приведенными данными литературы. У пациентов группы N+S, где применялось сочетание несвободного трансплантата с сохранением культи ПКС, были получены наилучшие результаты по всем клиническим шкалам (Lysholm, IKDC, KOOS) и инструментальным показателям (SNQ, расширение костных каналов) как через 6, так и через 12 мес. после операции. Это подтверждает эффективность использования биологически щадящих техник в сравнении с традиционной методикой реконструкции ПКС свободным трансплантатом.

Выполненный многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA) с визуализацией результатов с помощью анализа главных компонент (PCA) показал, что пациенты группы N+S формируют обособленный кластер, четко отличающийся от

других групп. Основными признаками, по которым достигается это разделение, являются высокие значения функциональных шкал (Lysholm, KOOS), а также наименьшие значения индекса SNQ и минимальное расширение костных тоннелей. Эти особенности отражают наиболее благоприятную клиническую и морфологическую динамику восстановления пациентов, которым проводилась реконструкция с сохранением тиббиального прикреплении и культы ПКС.

### Ограничения исследования

Несмотря на полученные достоверные результаты, исследование имеет ряд ограничений. Работа выполнена в рамках одноцентрового наблюдения, что может снижать внешнюю валидность и ограничивать возможность экстраполяции данных на другие клинические популяции. Дизайн исследования предусматривал рандомизацию, однако отсутствие ослепления может способствовать потенциальной предвзятости при интерпретации субъективных шкал. Также необходимо учитывать, что длительность периода наблюдения составила только 12 мес., что ограничивает

оценку отдаленных клинических и морфологических исходов. Наконец, несмотря на стратифицированное распределение пациентов по группам, возможное влияние сопутствующих факторов (например, уровень физической активности, приверженность реабилитации) не было учтено в полном объеме.

В дальнейшем проведение многоцентровых слепых рандомизированных исследований с расширенным сроком наблюдения позволит подтвердить и дополнить представленные результаты.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные позволяют утверждать, что применение несвободных трансплантатов в сочетании с техникой сохранения культы передней крестообразной связки обладает значительным потенциалом в плане улучшения результатов хирургического лечения нестабильности коленного сустава. В то же время для окончательной верификации представленных результатов требуется проведение широкомасштабных рандомизированных исследований с пролонгированным периодом наблюдения.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

#### Заявленный вклад авторов

*Котельников Г.П.* — научное руководство, редактирование текста рукописи.

*Щербатов Н.Д.* — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

*Кудашев Д.С.* — редактирование текста рукописи.

*Зуев-Ратников С.Д.* — концепция и дизайн исследования.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Возможный конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Этическая экспертиза.** Исследование одобрено локальным биоэтическим комитетом ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, № 269 от 13.09.2023 г.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

### DISCLAIMERS

#### Author contribution

*Kotelnikov G.P.* — scientific guidance, editing the manuscript.

*Shcherbatov N.D.* — data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript.

*Kudashhev D.S.* — editing the manuscript.

*Zuev-Ratnikov S.D.* — study concept and design.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Disclosure competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Ethics approval.** The study was approved by the local bioethics committee of Samara State Medical University, Samara, Russia, protocol No 269, 13.09.2023.

**Consent for publication.** The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.



## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Сапрыкин А.С., Гвоздев М.А., Рябинин М.В., Орлов Ю.Н. Историческое развитие реконструкции передней крестообразной связки. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(6):205. <https://doi.org/10.17513/spno.30440>.
2. Saprykin A.S., Gvozdev M.A., Ryabinin M.V., Orlov Y.N. Historical development of anterior cruciate ligament reconstruction. *Modern Problems of Science and Education*. 2020;(6):205. (In Russian). <https://doi.org/10.17513/spno.30440>.
3. Заяц В.В., Дулаев А.К., Дыдыкин А.В., Ульянов И.Н., Коломоитцев А.В., Ковтун А.В. Анализ эффективности технологий артроскопической пластики передней крестообразной связки коленного сустава. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2017;176(2):77-82. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2017-176-2-77-82>.
4. Zayats V.V., Dulaev A.K., Dydykin A.V., Ul'ianchenko I.N., Kolomoitsev A.V., Kovtun A.V. Analysis of efficacy of arthroscopic plasty technologies of anterior cruciform ligament of knee joint based on anatomical position of autograft. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2017;176(2):77-82. (In Russian). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2017-176-2-77-82>.
5. Гончаров Е.Н., Коваль О.А., Дубров В.Э., Безуглов Э.Н., Алехин 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. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-1-62-71>.
6. 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 the anterior cruciate and anterolateral ligaments of the knee in athletes. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):62-71. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2020-26-1-62-71>.
7. Михайлов И.Н., Пусева М.Э., Тишков Н.В., Монастырев В.В., Пономаренко Н.С., Бальжинимайев Д.Б. Современные способы тендопластики передней крестообразной связки (обзор литературы). *Acta Biomedica Scientifica*. 2017;2(6):64-68. [https://doi.org/10.12737/article\\_5a0a864c6e0163.65998795](https://doi.org/10.12737/article_5a0a864c6e0163.65998795).
8. Mikhaylov I.N., Puseva M.E., Tishkov N.V., Monastirev V.V., Ponomarenko N.S., Balzhinimayev D.B. Modern methods of anterior cruciate ligament tendoplasty (literature review). *Acta Biomedica Scientifica*. 2017;2(6):64-68. (In Russian). [https://doi.org/10.12737/article\\_5a0a864c6e0163.65998795](https://doi.org/10.12737/article_5a0a864c6e0163.65998795).
9. Zdanowicz U., Ciszowska-Łyson B., Paśnik M., Drwiga M., Ratajczak K., Fulawka K. et al. Evaluation of ACL Graft Remodeling and Prediction of Graft Insufficiency in Sequenced MRI – Two-Year Follow-Up. *Appl Sci*. 2021;11:5278. <https://doi.org/10.3390/app11115278>.
10. Howell S.M., Clark J.A., Blasier R.D. Serial magnetic resonance imaging of hamstring anterior cruciate ligament autografts during the first year of implantation. A preliminary study. *Am J Sports Med*. 1991;19(1):42-47. <https://doi.org/10.1177/036354659101900107>.
11. Пупынин Д.Ю., Лычагин А.В., Грицюк А.А. Сравнительный анализ пятилетних результатов применения различных методик лечения разрывов передней крестообразной связки. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):337-344. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344>.
12. Pupynin D.Yu., Lychagin A.V., Gritsyuk A.A. Comparative analysis of five-year outcomes of anterior cruciate ligament tears repaired with different techniques. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):337-344. (In Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344>.
13. Velicheti S., Ramadugu A., Chalasani K., Kotagiri R., Padavala S. Evaluation of ACL graft by MRI: a pictorial review. *J Glob Radiol*. 2022;8(1):1. <https://doi.org/10.7191/jgr.2022.1151>.
14. Hopper G.P., Philippe C., El Helou A., Campos J.P., Vieira T.D., Döbele S. et al. Single AnteroMedial Bundle Biological Augmentation: SAMBBA Plus Technique for Combined ACL Repair and Reconstruction. *Arthrosc Tech*. 2023;12(1):e135-e139. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2022.09.003>.
15. Sonnery-Cottet B., Freychet B., Murphy C.G., Pupim B.H., Thauinat M. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Preservation: The Single-Anteromedial Bundle Biological Augmentation (SAMBBA) Technique. *Arthrosc Tech*. 2014;3(6):e689-e693. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2014.08.007>.
16. Заяц В.В. Несвободные трансплантаты в реконструктивной хирургии передней крестообразной связки коленного сустава. *Ученые записки Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова*. 2020;27(1):57-67. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2020-27-1-57-67>.
17. Zayats V.V. Non-free grafts in anterior cruciate ligament and lateral extra-articular tenodesis reconstruction. *The Scientific Notes of the Pavlov University*. 2020;27(1):57-67. (In Russian). <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2020-27-1-57-67>.
18. Sinha S., Naik A.K., Maheshwari M., Sandanshiv S., Meena D., Arya R.K. Anterior cruciate ligament reconstruction with tibial attachment preserving hamstring graft without implant on tibial side. *Indian J Orthop*. 2018;52(2):170-176. [https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho\\_85\\_17](https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_85_17).
19. Kim S.J., Kim H.K., Lee Y.T. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous hamstring tendon graft without detachment of the tibial insertion. *Arthroscopy*. 1997;13(5):656-660. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(97\)90198-5](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(97)90198-5).
20. Liu S., Sun Y., Wan F., Ding Z., Chen S., Chen J. Advantages of an Attached Semitendinosus Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Rabbit Model. *Am J Sports Med*. 2018;46(13):3227-3236. <https://doi.org/10.1177/036354651879935>.
21. Cavaignac E., Marot V., Faruch M., Reina N., Murgier J., Accadbled F. et al. Hamstring Graft Incorporation According to the Length of the Graft Inside Tunnels. *Am J Sports Med*. 2018;46(2):348-356. <https://doi.org/10.1177/0363546517733472>.
22. Liu S., Li H., Tao H., Sun Y., Chen S., Chen J. A Randomized Clinical Trial to Evaluate Attached Hamstring Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Magnetic Resonance Imaging. *Am J Sports Med*. 2018;46(5):1143-1149. <https://doi.org/10.1177/0363546517733472>.
23. 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. <https://doi.org/10.1177/036354658201000306>.

18. Higgins L.D., Taylor M.K., Park D., Ghodadra N., Marchant M., Pietrobon R. et al. Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine*. 2007;74(6):594-599. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2007.01.036>.
19. Roos E.M., Lohmander L.S. The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health Qual Life Outcomes*. 2003;1:64. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-64>.
20. 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. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-48-54>.
21. 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 Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-48-54>.
22. Гофер А.С., Алекперов А.А., Гуражев М.Б., Авдеев А.К., Павлов В.В., Корыткин А.А. Ревизионная реконструкция передней крестообразной связки: современные подходы к предоперационному планированию (систематический обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3):136-148. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>.
23. Gofer A.S., Alekperov A.A., Gurazhev M.B., Avdeev A.K., Pavlov V.V., Korytkin A.A. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: current approaches to preoperative planning (systematic review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):136-148. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-2130>.
24. Naraoka T., Kimura Y., Tsuda E., Yamamoto Y., Ishibashi Y. Is remnant preservation truly beneficial to anterior cruciate ligament reconstruction healing? Clinical and magnetic resonance imaging evaluations of remnant-preserved reconstruction. *Am J Sports Med*. 2017;45(5):1049-1058. <https://doi.org/10.1177/0363546516682241>.
25. Franciozi C.E., Minami F.K., Ambra L.F., Galvão P.H.S.A.F., Schumacher F.C. et al. Remnant preserving ACL reconstruction with a functional remnant is related to improved laxity but not to improved clinical outcomes in comparison to a nonfunctional remnant. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(5):1543-1551. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06572-1>.
26. Cho E., Chen J., Xu C., Zhao J. Remnant preservation may improve proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Traumatol*. 2022;23(1):22. <https://doi.org/10.1186/s10195-022-00641-y>.
27. Wang H., Liu Z., Li Y., Peng Y., Xu W., Hu N., et al. Is remnant preservation in anterior cruciate ligament reconstruction superior to the standard technique? A systematic review and meta-analysis. *Biomed Res Int*. 2019;2019:1652901. <https://doi.org/10.1155/2019/1652901>.
28. Takahashi T., Kondo E., Yasuda K., Miyatake S., Kawaguchi Y., Onodera J. et al. Effects of remnant tissue preservation on the tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical and histological study. *Am J Sports Med*. 2016;44(7):1708-1716. <https://doi.org/10.1177/0363546516643809>.
29. El-Desouky M.A., Ezzat M., Abdelrazek B.H. Clinical outcomes in stump-preserving versus stump-sacrificing anterior cruciate ligament reconstruction; a randomized controlled study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022;23(1):703. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05665-3>.
30. Gupta R., Singh S., Kapoor A., Soni A., Kaur R., Kaur N. Graft tunnel integration occurs early in the tibial tunnel compared with the femoral tunnel after anterior cruciate ligament reconstruction with preserved insertion hamstring tendon graft. *Knee Surg Relat Res*. 2021;33(1):37. <https://doi.org/10.1186/s43019-021-00119-x>.
31. Wang Z., Tao H.B., Wang Y., Liu B., Han W.F., Xiang L.B. Clinical application of modified Crain classification in the design of anterior cruciate ligament reconstruction with remnant preservation. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022;23(1):1066. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05912-7>.
32. Vari N., Cavaignac E., Cavaignac M., Bérard É., Marot V. Outcomes of hamstring graft with preserved tibial insertion for ACL reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2024;34(1):67-73. <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03698-5>.
33. Grassi A., Casali M., Macchiarella L., Lucidi G.A., Cucurnia I., Filardo G. et al. Hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction show better magnetic resonance features when tibial insertion is preserved. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(2):507-518. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-05948-z>.
34. Ruffilli A., Traina F., Evangelisti G., Borghi R., Perna F., Faldini C. Preservation of hamstring tibial insertion in anterior cruciate ligament reconstruction: a review of the current literature. *Musculoskeletal Surg*. 2015;99(2):87-92. <https://doi.org/10.1007/s12306-015-0346-3>.
35. Zhang Y., Liu S., Chen Q., Hu Y., Sun Y., Chen J. Maturity Progression of the Entire Anterior Cruciate Ligament Graft of Insertion-Preserved Hamstring Tendons by 5 Years: A Prospective Randomized Controlled Study Based on Magnetic Resonance Imaging Evaluation. *Am J Sports Med*. 2020;48(12):2970-2977. <https://doi.org/10.1177/0363546520951507>.
36. Lee B.I., Kim B.M., Kho D.H., Kwon S.W., Kim H.J., Hwang H.R. Does the tibial remnant of the anterior cruciate ligament promote ligamentization? *Knee*. 2016;23(6):1133-1142. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.09.008>.
37. Ahn G.Y., Lee T.H., Lee K.J., Woo S. Comparison of clinical outcomes and second-look arthroscopic evaluations between anterior cruciate ligament anteromedial bundle augmentation and single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Relat Res*. 2020;32(1):45. <https://doi.org/10.1186/s43019-020-00058-z>.

**Сведения об авторах**

✉ Щербатов Никита Дмитриевич

Адрес: Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89

<https://orcid.org/0009-0007-7202-7471>

e-mail.ru: niksherbatov@mail.ru

Котельников Геннадий Петрович — д-р мед. наук,  
профессор, академик РАН<https://orcid.org/0000-0001-7456-6160>

e-mail: g.p.kotelnikov@samsmu.ru

Кудашев Дмитрий Сергеевич — д-р мед. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-8002-7294>

e-mail: dmitrykudashew@mail.ru

Зуев-Ратников Сергей Дмитриевич — канд. мед. наук,  
доцент<https://orcid.org/0000-0001-6471-123X>

e-mail: stenocardia@mail.ru

**Authors' information**

✉ Nikita D. Shcherbatov

Address: 89, Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-7202-7471>

e-mail.ru: niksherbatov@mail.ru

Gennadiy P. Kotelnikov — Dr. Sci. (Med.), Professor,  
Full Member of the RAS<https://orcid.org/0000-0001-7456-6160>

e-mail: g.p.kotelnikov@samsmu.ru

Dmitry S. Kudashev — Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8002-7294>

e-mail: dmitrykudashew@mail.ru

Sergey D. Zuev-Ratnikov — Cand. Sci. (Med.),  
Assistant Professor<https://orcid.org/0000-0001-6471-123X>

e-mail: stenocardia@mail.ru