RESEARCH JOURNAL OF TRAUMA AND DISABILITY STUDIES

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

Оптимальный Выбор Аутотрансплантата При Разрывах Задней Крестообразной Связки: Обзор Литературы

Ирисметов М.Э., Сафаров М.М., Шамшиметов Д.Ф., Таджиназаров М.Б., Рустамов Ф.Р., Хамроев Ш.Ф.

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр травматологии и ортопедии

Введение

Задняя крестообразная связка (ЗКС) является одним из основных стабилизаторов коленного сустава, предотвращающим заднее смещение большеберцовой кости, а также участвующим в обеспечении ротационной и фронтальной стабильности. Повреждение ЗКС может приводить к нарушению биомеханики коленного сустава, хронической нестабильности, развитию дегенеративных изменений и снижению качества жизни пациентов [1, 2].

По сравнению с повреждениями передней крестообразной связки (ПКС), изолированные разрывы ЗКС встречаются реже, однако часто они протекают бессимптомно на ранних стадиях и диагностируются с задержкой. Более того, до 60% повреждений ЗКС могут быть частью многосвязочного поражения, особенно при высокоэнергетических травмах (например, ДТП, падениях с высоты, спортивных травмах), что требует особого подхода к лечению [3, 4].

Современная тактика ведения пациентов с разрывами ЗКС зависит от множества факторов, включая степень повреждения, возраст, уровень физической активности, наличие сопутствующих травм и степень нестабильности сустава. Консервативная терапия может быть эффективна у пациентов с частичными разрывами и низкими функциональными требованиями. Однако при полном разрыве, особенно у активных пациентов, показана хирургическая реконструкция связки [5, 6].

Ключевым этапом успешной реконструкции является выбор трансплантата. Хотя в мировой практике применяются как алло-, так и аутотрансплантаты, последние остаются предпочтительными ввиду их биологической совместимости, способности к интеграции, отсутствия иммуногенного ответа и низкого риска инфицирования [7].

Среди аутотрансплантатов наиболее часто применяются:

- сухожилия полусухожильной и тонкой мышц;
- сухожилие четырёхглавой мышцы бедра с костным блоком или без него;
- центральная треть надколенного сухожилия (bone–patellar tendon–bone, BPTB).

Каждый из этих вариантов имеет свои биомеханические, анатомические и клинические особенности. Например, трансплантат из сухожилия четырёхглавой мышцы демонстрирует высокую прочность и стабильность, что делает его предпочтительным у профессиональных спортсменов [8]. В то же время, сухожилия задней группы бедра обеспечивают меньшую травматичность при заборе, но демонстрируют потенциально большее удлинение под нагрузкой [9].

Несмотря на обилие данных, до настоящего времени отсутствует единый клинический консенсус по выбору «оптимального» аутотрансплантата при реконструкции ЗКС. На выбор трансплантата могут влиять как анатомические особенности пациента, так и предпочтения хирурга, доступность тканей и характер повреждения.

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

Цель данной обзорной статьи — провести комплексный анализ современных литературных данных о применении различных аутотрансплантатов при реконструкции ЗКС, оценить их клинические и биомеханические характеристики, а также обозначить ключевые факторы, влияющие на выбор оптимального трансплантата в различных клинических ситуациях.

Анатомо-функциональные особенности задней крестообразной связки

Задняя крестообразная связка (ЗКС) является мощным интракапсулярным, но экстрасиновиальным компонентом коленного сустава. Она начинается на латеральной поверхности медиального мыщелка бедренной кости и прикрепляется к задней межмыщелковой области большеберцовой кости. ЗКС состоит из двух основных пучков — антеролатерального (AL) и постеромедиального (PM), функционирующих в зависимости от угла сгибания коленного сустава [10, 11].

Антеролатеральный пучок (AL) натягивается при сгибании сустава до 90–120°, обеспечивая основную стабилизацию в этом диапазоне. Постеромедиальный пучок (PM), в свою очередь, активен в положении близком к разгибанию. Благодаря такой анатомической организации, ЗКС стабилизирует не только задне-передние, но и ротационные и боковые движения коленного сустава [12].

Биомеханические исследования показали, что прочность ЗКС составляет в среднем 2500 Н, что делает её одной из самых прочных связок колена. При этом её жесткость и устойчивость к удлинению играют ключевую роль в защите колена от патологических смещений [13]. Именно из-за высокой нагрузки и сложной пространственной ориентации восстановление анатомической целостности ЗКС при реконструкции требует особенно точного позиционирования трансплантата [14].

Еще одной особенностью ЗКС является относительно низкий потенциал к спонтанному заживлению. Связка обладает ограниченной васкуляризацией, а ее физиологическое натяжение в повседневных движениях (спуск/подъем по лестнице, приседания, торможение) делает условия для самовосстановления неблагоприятными [15]. Это объясняет тот факт, что при полном разрыве ЗКС у активных пациентов нередко наблюдается прогрессирующая нестабильность и вторичный остеоартроз.

Таким образом, сложная анатомия, двухпучковая структура и значительная нагрузка на заднюю крестообразную связку делают её реконструкцию технически сложной задачей, где выбор аутотрансплантата должен учитывать как биомеханику, так и анатомическую точность.

Показания к хирургическому лечению разрывов задней крестообразной связки.

Выбор тактики лечения повреждений задней крестообразной связки (ЗКС) определяется целым рядом факторов, включая степень повреждения, уровень физической активности пациента, наличие сопутствующих повреждений и симптомы нестабильности. В отличие от передней крестообразной связки, при частичных повреждениях ЗКС возможна эффективная консервативная терапия. Однако при полных разрывах, особенно у активных пациентов, предпочтение отдается хирургической реконструкции [16].

Консервативное лечение может быть эффективным при:

- частичном разрыве ЗКС;
- минимальной задней нестабильности (до 5 мм по тесту заднего выдвижного ящика);
- низкой физической активности;
- отсутствии сопутствующих повреждений (менисков, других связок);

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

- хорошей мышечной компенсации (особенно задней группы бедра) [17].

Тем не менее, даже при частичных повреждениях в долгосрочной перспективе возможно развитие нестабильности, боли и артроза, особенно при отсутствии адекватной реабилитации и контроля нагрузки.

Показания к хирургическому лечению (реконструкции ЗКС) включают:

- полный разрыв ЗКС с клинически выраженной нестабильностью (задний выдвижной ящик более 8 мм, положительный рентгенологический стресс-тест);
- неэффективность консервативного лечения (при сохраняющихся симптомах более 6 месяцев);
- высокий уровень физической активности (спортсмены, военнослужащие и др.);
- сопутствующие повреждения (разрывы ПКС, коллатеральных связок, менисков, капсулы);
- многосвязочные повреждения коленного сустава (особенно постеро-латерального угла);
- хроническая задняя нестабильность с прогрессирующими дегенеративными изменениями [18–20].

Вопрос времени операции остаётся дискуссионным. В большинстве современных рекомендаций предпочтение отдается отсроченной реконструкции через 3–6 недель после травмы, когда уменьшается отек, восстанавливается объем движений и улучшается функция мышц. При этом при многосвязочных травмах и вывихах колена допустима и ранняя реконструкция (до 3 недель), чтобы избежать повторной потери стабильности и контрактур [21].

Хирургическая техника также может отличаться — используется анатомическая реконструкция с одним или двумя пучками, выбор трансплантата может зависеть от характера травмы, предпочтений хирурга, анатомии пациента и наличия донорских тканей.

Виды аутотрансплантатов, применяемых при реконструкции задней крестообразной связки

Реконструкция задней крестообразной связки (ЗКС) представляет собой сложную ортопедическую процедуру, от успеха которой в значительной степени зависит восстановление стабильности и функции коленного сустава. Одним из ключевых аспектов оперативного вмешательства является выбор трансплантата. На сегодняшний день аутотрансплантаты (т.е. собственные ткани пациента) остаются предпочтительными ввиду их высокой биологической совместимости, способности к реваскуляризации и низкой вероятности иммунологических осложнений [22–23].

Выбор конкретного аутотрансплантата определяется множеством факторов, включая тип травмы, анатомические особенности пациента, сопутствующие повреждения, наличие донорских тканей, опыт хирурга и технические возможности учреждения. Ниже представлены основные виды аутотрансплантатов, применяемые при реконструкции ЗКС.

1. Сухожилия полусухожильной и портняжной мышц (hamstring autograft)

Это один из самых часто применяемых вариантов аутотрансплантатов благодаря его анатомической доступности и хорошим механическим характеристикам. Для увеличения прочности сухожилия обычно складываются вдвое или вчетверо.

Преимущества: низкая травматизация зоны забора; минимальная передняя боль; достаточная длина и прочность (2400–4000 Н при сложении в 4 пучка) [24].

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

Недостатки: возможное удлинение трансплантата под нагрузкой («creep effect»); мягкотканевая фиксация требует надёжной стабилизации в костном туннеле; потенциальное снижение силы сгибания голени [25].

Центральная треть надколенного сухожилия (bone–patellar tendon–bone, BPTB)

Этот трансплантат считается классическим и широко применяется в реконструкции крестообразных связок.

Преимущества: костно-костная фиксация обеспечивает быструю остеоинтеграцию; высокая первичная прочность (2600–3000 Н); стабильность при активной реабилитации [26].

Недостатки: выраженный болевой синдром в переднем отделе колена; риск развития тендинопатии и пателлярного артроза; возможность возникновения осложнений при заборе (перелом надколенника, пателлярная нестабильность) [27].

3. Сухожилие четырёхглавой мышцы бедра (quadriceps tendon autograft)

Все чаще используется в клинической практике, особенно у пациентов с повторными операциями или высокой физической нагрузкой. Может применяться как с костным блоком, так и без него.

Преимущества: большая площадь поперечного сечения, обеспечивающая прочность (до 4000 Н); относительно низкий уровень послеоперационной боли; стабильные биомеханические показатели [28].

Недостатки: технически сложный забор; ограниченный клинический опыт и данные по ЗКС (по сравнению с ПКС) [29].

4. Сухожилие длинной малоберцовой мышцы (peroneus longus tendon autograft)

Рассматривается как альтернативный вариант при недостаточности других донорских тканей или в ревизионных операциях.

Преимущества: достаточная длина и диаметр; удобный доступ; минимальное влияние на силу стопы при сохранении функции короткой малоберцовой мышцы [30].

Недостатки: возможность снижения функции стопы при активной нагрузке; ограниченное количество исследований по реконструкции ЗКС [31].

5. Ахиллово сухожилие с костным блоком (Achilles tendon autograft)

Хотя чаще применяется в виде аллотрансплантата, в некоторых клинических ситуациях возможен забор собственной части ахиллова сухожилия с костным фрагментом.

Преимущества: большая ширина и прочность сухожилия (более 3500 Н); наличие костного блока упрощает фиксацию; пригоден при ревизионных и комбинированных реконструкциях [32].

Недостатки: травматичный забор; возможные ограничения при ходьбе на носках и функциональной нагрузке; повышенный риск послеоперационных болей в зоне забора [32].

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

Сравнительная таблица аутотрансплантатов:

Трансплантат	Прочность (Н)	Тип фиксации	Удлинение	Донорская боль	Особенности
Hamstring (semis+gracilis)	2400–4000	мягкотканная	среднее	низкая	универсален, требует надёжной фиксации
BPTB	2600–3000	костно-костная	низкое	высокая	стабильная фиксация, передняя боль
Quadriceps tendon	3000–4000	костно-/мягкотканная	низкое	умеренная	высокий объем, подходит для ревизий
Peroneus longus tendon	~3000	мягкотканная	среднее	низкая	альтернатива при повторных операциях
Achilles tendon (с костным блоком)	>3500	костно-костная	низкое	высокая	применяется при дефиците других тканей

Факторы, влияющие на выбор аутотрансплантата при реконструкции задней крестообразной связки

Выбор оптимального аутотрансплантата при реконструкции задней крестообразной связки (ЗКС) — это не универсальное решение, а индивидуализированный процесс, учитывающий анатомические, клинические, технические и даже психологические особенности конкретного пациента. Несмотря на множество доступных вариантов трансплантатов, ни один из них не признан абсолютным «золотым стандартом», и клиническая практика всё чаще ориентируется на мультимодальный подход к принятию решений [33, 34].

Ниже приведены основные факторы, влияющие на выбор аутотрансплантата:

1. **Анатомические особенности пациента**

- Масса тела и размер сухожилий: У пациентов с малым телосложением или подростков могут быть недостаточные по диаметру hamstring-сухожилия, что ограничивает их использование без утолщения.
- Длина бедра и голени: Важна для определения достаточной длины трансплантата.
- Ширина межмыщелковой вырезки: Узкая вырезка увеличивает риск "щелчка" трансплантата и требует точного позиционирования.

2. **Уровень физической активности**

- Спортсмены высокой категории (особенно контактные виды спорта): часто предпочитаются трансплантаты с костным блоком (BPTB или квадрицепс с костью) из-за высокой стабильности и минимального удлинения.
- Пациенты с низкой физической активностью: Возможен выбор более щадящих методов с минимальной донорской травмой (например, hamstring).

3. **Тип и степень повреждения**

- Изолированный разрыв ЗКС: можно использовать стандартные трансплантаты (hamstring, BPTB, квадрицепс).

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

- Многосвязочные повреждения: часто требуют увеличенного диаметра трансплантата или двухпучковой реконструкции, где предпочтение может отдаваться квадрицепсу или ахиллу.
- Повторные (ревизионные) операции: необходимо использовать нестандартные трансплантаты (перонеус лонгус, ахилл) из-за истощения традиционных донорских зон.

4. **Предыдущие хирургические вмешательства**

- При уже использованных hamstring или BPTB трансплантатах в предыдущих реконструкциях (ПКС, например), используются альтернативные источники, такие как сухожилие четырёхглавой мышцы, перонеус лонгус или аллотрансплантаты.

5. **Ожидаемая скорость реабилитации**

- BPTB обеспечивает более быструю остеоинтеграцию, но сопровождается выраженной болью.
- Hamstring-сухожилия требуют более мягкого режима фиксации и защиты от перерастяжения в ранние сроки, что может удлинять срок реабилитации.

6. **Риск развития послеоперационных осложнений**

- При наличии факторов риска развития передней боли (тендинопатии, хондромаляция пателлы) BPTB нежелателен.
- У пациентов с вальгусной установкой или слабостью четырёхглавой мышцы трансплантат квадрицепса может быть менее предпочтителен.

7. **Опыт и предпочтения хирурга**

Немаловажную роль играют технические навыки хирурга и привычные методики. Например, некоторые специалисты обладают высокой техникой забора квадрицепсного трансплантата, что может влиять на исход лечения и снижать риски.

Заключение

Реконструкция задней крестообразной связки (ЗКС) — одна из самых технически сложных процедур в современной артроскопической хирургии коленного сустава. Успех операции напрямую зависит не только от точной анатомической репозиции, но и от обоснованного выбора аутотрансплантата. Многообразие доступных аутотканей предоставляет хирургу широкие возможности для индивидуализации подхода к каждому пациенту, однако одновременно требует глубокого знания анатомии, биомеханики и клинических последствий применения каждого типа трансплантата.

На сегодняшний день наиболее часто используются сухожилия полусухожильной и портняжной мышц, центральная треть надколенного сухожилия и сухожилие четырёхглавой мышцы бедра. В условиях ограниченных донорских ресурсов или при ревизионных вмешательствах успешно применяются альтернативные трансплантаты, такие как сухожилие длинной малоберцовой мышцы и ахиллово сухожилие. Каждый из этих вариантов обладает своими биомеханическими и клиническими преимуществами, но также связан с определёнными рисками и техническими особенностями.

Выбор трансплантата должен быть основан на комплексной оценке анатомических и функциональных характеристик пациента, типа повреждения, уровня активности, предшествующих вмешательств и профессионального опыта хирурга. Только при индивидуальном, научно обоснованном подходе к реконструкции ЗКС можно достичь оптимального функционального восстановления, минимизировать риск осложнений и повысить удовлетворённость пациента лечением.

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

Таким образом, оптимальный выбор аутотрансплантата является неотъемлемой частью персонализированной медицины и ключевым элементом успешного лечения повреждений задней крестообразной связки.

Литература :

1. LaPrade RF, Johansen S, Wentorf FA, Engebretsen L. An analysis of anatomic posterolateral knee reconstructions using static biomechanical testing. Am J Sports Med. 2004;32(6):1405–1414.
2. Harner CD, Höher J. Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries. Am J Sports Med. 2004;32(2):446–458.
3. Mook WR, Miller MD, Diduch DR, Hertel J, Boachie-Adjei Y, Hart JM. Multiple-ligament knee injuries: a systematic review of the timing of operative intervention and postoperative rehabilitation. J Bone Joint Surg Am. 2009;91(12):2946–2957.
4. Fanelli GC, Edson CJ. Surgical treatment of combined PCL–posterolateral injuries of the knee: surgical technique and 2- to 10-year follow-up. Arthroscopy. 2004;20(4):339–346.
5. LaPrade CM, Civitarese DM, Rasmussen MT, LaPrade RF. Emerging updates on the posterior cruciate ligament: a review of the current literature. Am J Sports Med. 2015;43(12):3077–3092.
6. Shelbourne KD, Davis TJ, Klootwyk TE. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries: a prospective study. Am J Sports Med. 1999;27(3):276–283.
7. Godin JA, Cinque ME, Moatshe G, Chahla J, Vap AR, LaPrade RF. Posterior cruciate ligament reconstruction: how graft choice affects outcomes. Orthop J Sports Med. 2017;5(6):2325967117706236.
8. Margheritini F, Mariani PP. Posterior cruciate ligament reconstruction using the central quadriceps tendon–bone autograft: surgical technique and preliminary results. Arthroscopy. 2002;18(7):764–770.
9. Lee YS, Lee OS, Chang CH, et al. Comparison of clinical outcomes according to graft types in posterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis. Knee Surg Relat Res. 2017;29(4):275–281.
10. Ziegler CG, Pietrini SD, Westerhaus BD, et al. Arthroscopically pertinent landmarks for tunnel positioning in posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39(4):743–752.
11. LaPrade RF, Civitarese DM, Rasmussen MT, LaPrade CM. Emerging updates on the posterior cruciate ligament: a review of the current literature. *Am J Sports Med.* 2015;43(12):3077–3092.
12. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(2):233–242.
13. Race A, Amis AA. The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. *J Biomech.* 1994;27(1):13–24.
14. Wijdicks CA, Kennedy NI, Goldsmith MT, et al. Kinematics and function of the posterior cruciate ligament after anatomic single- and double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013;41(9):2144–2153.
15. LaPrade RF, Bernhardson AS, Griffith CJ, et al. Correlation of healing response of the posterior cruciate ligament with MR imaging signal intensity and clinical outcomes after nonsurgical treatment. *Am J Sports Med.* 2012;40(8):1762–1767.

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

16. Shelbourne KD, Davis TJ, Klootwyk TE. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries: a prospective study. *Am J Sports Med.* 1999;27(3):276–283.
17. Fanelli GC, Beck JD, Edson CJ. Surgical treatment of acute and chronic posterior cruciate ligament injuries. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2010;18(4):230–236.
18. Mook WR, Miller MD, Diduch DR, Hertel J, Boachie-Adjei Y, Hart JM. Multiple-ligament knee injuries: a systematic review of timing of operative intervention and rehabilitation. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(12):2946–2957.
19. LaPrade RF, Johansen S, Engebretsen L. Clinical anatomy of the posterolateral aspect of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(9):1025–1032.
20. LaPrade CM, Kennedy NI, Bakken A, et al. The evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries: the state of the art. *J ISAKOS.* 2019;4(4):165–174.
21. Levy BA, Dajani KA, Whelan DB, et al. Decision making in the multiligament-injured knee: an evidence-based systematic review. *Arthroscopy.* 2009;25(4):430–438.
22. Godin JA, Cinque ME, Moatshe G, et al. Posterior cruciate ligament reconstruction: how graft choice affects outcomes. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(6):2325967117706236.
23. Fanelli GC, Edson CJ. Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients: Part II. *Arthroscopy.* 1995;11(5):526–529.
24. Lee YS, Lee OS, Chang CH, et al. Comparison of clinical outcomes according to graft types in posterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis. *Knee Surg Relat Res.* 2017;29(4):275–281.
25. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur–anterior cruciate ligament–tibia complex. *Am J Sports Med.* 1991;19(3):217–225.
26. Shelbourne KD, Gray T. Minimum 10-year follow-up of ACL reconstruction using contralateral patellar tendon autograft. *Am J Sports Med.* 2009;37(5):717–723.
27. Bedi A, Musahl V, Cowan JB. Management of posterior cruciate ligament injuries: an evidence-based review. *J Am Acad Orthop Surg.* 2016;24(5):277–289.
28. Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW. Quadriceps tendon autograft for primary ACL reconstruction: a systematic review. *Arthroscopy.* 2015;31(3):541–554.
29. Cavaignac E, Graveleau N, Canovas F, et al. Is quadriceps tendon autograft a better choice than hamstring autograft for ACL reconstruction? *Am J Sports Med.* 2017;45(6):1326–1332.
30. Zhao J, Huangfu X. Autograft of peroneus longus tendon for anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical comparison with hamstring tendon. *Am J Sports Med.* 2012;40(3):588–594.
31. Wang H, Liu Z, Li Y, et al. Peroneus longus tendon autograft for ACL reconstruction: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(8):2325967120941893.
32. Reider B, Parikh G, Traina SM. Revision anterior cruciate ligament surgery: graft considerations. *Clin Sports Med.* 2013;32(1):101–118.
33. Moatshe G, Chahla J, Brady AW, et al. Posterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of techniques and outcomes. *Arthroscopy.* 2017;33(6):1101–1113.

Volume: 4 Issue: 7 | July–2025 ISSN: 2720-6866
http://journals.academiczone.net/index.php/rjtds

34. Chahla J, Moatshe G, Cinque ME, et al. Single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy*. 2017;33(7):1353–1364.