

DOI:10.23873/2074-0506-2017-9-4-317-324

Использование трансплантата из сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки (преимущества, проблемы и пути их решения)

В.В. Сластинин, А.М. Файн, А.Ю. Ваза

ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», Москва, Россия

Контактная информация: Владимир Викторович Сластинин, младший научный сотрудник отделения неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва, Россия, e-mail: slastinin@gmail.com

Дата поступления статьи: 27.03.2017

Поиски оптимального трансплантата для пластики передней крестообразной связки не прекращаются. Одной из основных проблем при использовании аутоотрансплантатов остается травмирование донорской области. В статье представлен обзор преимуществ и недостатков применения трансплантатов из сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки, определены пути решения проблем, связанных с использованием таких трансплантатов.

Ключевые слова: пластика передней крестообразной связки, сухожилия подколенных мышц, осложнения, обзор литературы

Сластинин В.В., Файн А.М., Ваза А.Ю. Использование трансплантата из сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки (преимущества, проблемы и пути их решения). Трансплантология. 2017;9(4):317–324. DOI:10.23873/2074-0506-2017-9-4-317-324

The use of hamstring tendon graft for the anterior cruciate ligament reconstruction (benefits, problems and their solutions)

V.V. Slastinin, A.M. Fayn, A.Yu. Vaza

N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia

Correspondence to: Vladimir V. Slastinin, Junior Researcher of the Urgent Traumatology Department for Musculoskeletal System Trauma at N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia, e-mail: slastinin@gmail.com

Received: 27 March 2017

The search for optimal graft for anterior cruciate ligament reconstruction is going on. The donor site morbidity remains one of the major problems when using autografts. The article provides an overview of the advantages and disadvantages of using the hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction, and the ways of solving the problems associated with using such types of grafts.

Keywords: anterior cruciate ligament reconstruction, complications, hamstrings, review of the literature

Slastinin V.V., Fayn A.M., Vaza A.Yu. The use of hamstring tendon graft for the anterior cruciate ligament reconstruction (benefits, problems and their solutions). *Transplantologiya*. 2017;9(4):317–324. (In Russian). DOI:10.23873/2074-0506-2017-9-4-317-324

MPT – магнитно-резонансная томография

IKDC – International Knee Documentation Committee

Выбор трансплантата для пластики передней крестообразной связки нередко зависит от многих факторов, таких как предпочтения хирурга, доступность определенных типов трансплантатов, а также согласие пациента и виды спорта, которыми он занимается. Последнее становится особенно актуальным, если учесть, что большинство разрывов передней крестообразной связки колен-

ного сустава возникает в результате занятий контактными видами спорта. На сегодняшний день наиболее часто применяют аутоотрансплантаты (из связки надколенника и из сухожилий подколенных мышц), аллотрансплантаты и синтетические материалы [1]. Использование аллотрансплантатов и синтетических материалов рекомендуется только в специфических случаях [2].

До сих пор нет четкого ответа на вопрос о том, какой трансплантат является лучшим для пластики передней крестообразной связки [3].

Сухожилия подколенных мышц используют для пластики передней крестообразной связки с 1982 г., а связку надколенника – с 1969 г. Пластика передней крестообразной связки из вдвое сложенных сухожилий подколенных мышц с артроскопической ассистенцией впервые предложена Friedman в 1988 г. [3]. Применять трехпучковый и четырехпучковый трансплантаты из сухожилия полусухожильной мышцы начали в 1989 г. для того, чтобы предотвратить осложнения, связанные с использованием сухожилий обеих подколенных мышц и трансплантата из связки надколенника [4]. Забор сухожилия полусухожильной мышцы с или без сухожилия нежной мышцы производят, как правило, с ипсилатеральной нижней конечности. Затем подготовленный трансплантат проводят в тоннели, сформированные в большеберцовой и бедренной костях и фиксируют различными способами [3].

Имеются биомеханические исследования, доказывающие лучшие прочностные характеристики трансплантата из сухожилий подколенных мышц по сравнению с трансплантатом из связки надколенника диаметром 10 мм. Из-за значительного травмирования донорской зоны при заборе трансплантата из связки надколенника использование сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки приобретает все большую популярность. Данные проведенных исследований подтверждают рациональность применения сухожилий подколенных мышц в качестве трансплантата для пластики передней крестообразной связки [5, 6].

При сравнении результатов аутопластики передней крестообразной связки с использованием трансплантата из обоих сухожилий подколенных мышц и трансплантата из связки надколенника с костными блоками результаты сопоставимы, но в первой группе отмечается снижение силы сгибания в коленном суставе, а во второй – пациентов беспокоит боль в донорской области [7].

При сравнении отдаленных результатов аутопластики передней крестообразной связки с применением четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы и трансплантата из связки надколенника с костными блоками получены одинаковые результаты стабильности, функции коленного сустава и качества жизни, но в первой группе у пациентов

не отмечено осложнений, связанных с болью в донорской области при стоянии на коленях [8].

Специфическими осложнениями, связанными с использованием сухожилий подколенных мышц в качестве трансплантата, являются уменьшение силы сгибания в коленном суставе и внутренней ротации голени, а также повреждение чувствительных ветвей нервов [3].

Дефицит силы сгибания в коленном суставе после забора сухожилий подколенных мышц проявляется в положении сгибания на 70° и более. Сухожилия подколенных мышц участвуют в сгибании коленного сустава и торможении разгибания, также они регулируют ротацию голени и, что более важно, контролируют смещение голени кпереди, разделяя нагрузку с передней крестообразной связкой. Таким образом, сохранение силы подколенных мышц особенно важно для атлетов с повреждением передней крестообразной связки. При сохранении сухожилия нежной мышцы снижение силы сухожилий подколенных мышц может быть значительно минимизировано [9].

Nakamura et al. отмечают, что снижение силы сгибания в коленном суставе после забора сухожилий двух подколенных мышц может быть значительнее, чем сообщалось в более ранних исследованиях. Кроме того, забор нескольких подколенных сухожилий может уменьшить также объем активного сгибания в коленном суставе (что выявляется при проведении теста Nakamura). Имеющиеся результаты дают основание для беспокойства относительно увеличения риска повторного разрыва передней крестообразной связки и уменьшения силы глубокого сгибания коленного сустава при заборе двух сухожилий подколенных мышц. Таким образом, необходимо сохранять сухожилие нежной мышцы при пластике передней крестообразной связки [10].

Zaccherotti et al. определили, что после забора сухожилий подколенных мышц (полусухожильной и нежной мышц) дефицит сгибания через 6 месяцев после операции становился незначительным, в то время как дефицит внутренней ротации голени сохранялся в сроки до 2 лет [11]. В других исследованиях выявлено значительное уменьшение силы сгибания в коленном суставе на более чем 70° даже через 2 года после пластики передней крестообразной связки с использованием сухожилий подколенных мышц, так как регенерат функционирует неполноценно, а полуперепончатая и двуглавая мышцы не способны компенсировать недостаток подколенных мышц [12].

Другие авторы говорят о том, что большинство пациентов мало беспокоит уменьшение силы сгибания в коленном суставе после забора сухожилий подколенных мышц [3].

Karimi-Mobarakeh et al. сообщают, что нет значительных различий в клинических результатах между группами пациентов с использованием сухожилий подколенных мышц или только сухожилия полусухожильной мышцы при пластике передней крестообразной связки [13].

В одном из исследований при сравнении транстибиальной реконструкции передней крестообразной связки по методике “all-inside” (с применением только сухожилия полусухожильной мышцы) и традиционной транстибиальной техники с использованием сухожилий полусухожильной и нежной мышц за период наблюдения 24 месяца различий не выявлено. При этом оценку производили по шкалам IKDC – International Knee Documentation Committee (учитывались такие симптомы, как боль, отек, эпизоды нестабильности и тугоподвижность в коленном суставе, а также уровень физической активности пациентов), Lysholm (учитывались наличие хромоты, применение костылей, эпизоды блокады и нестабильности, боль, отек, перемещение по ступеням и проблемы с приседанием) и Tegner (учитывался уровень ограничений при ежедневной деятельности и занятиях активными видами спорта) [14].

При биомеханических исследованиях различных вариантов трансплантатов из связки надколенника и сухожилий подколенных мышц, используемых для пластики передней крестообразной связки, наибольшую прочность показал четырехпучковый трансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы (630.8N) [15].

Четырехпучковый трансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы становится популярным для пластики передней крестообразной связки благодаря его доступности, прочностным характеристикам и возможности сохранения сухожилия нежной мышцы. Сила сгибания в коленном суставе и внутренняя ротация голени лучше сохраняются при заборе только сухожилия полусухожильной мышцы [16].

Одной из проблем является прогнозирование диаметра трансплантата при использовании сухожилий подколенных мышц. Применение четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы диаметром 8 мм и более уменьшает частоту его разрыва по сравнению с более тонкими трансплантатами [17].

В исследовании Papastergiou et al. выявлено, что забор сухожилия только полусухожильной мышцы может быть недостаточно для получения трансплантата достаточной толщины. Наиболее точным прогностическим критерием у мужчин, свидетельствующим о достаточной длине и толщине сухожилия полусухожильной мышцы, является рост. У женщин статистически достоверных критериев для прогноза толщины трансплантата не выявлено. При этом наибольший риск получения трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы диаметром менее 7 мм имеют пациенты ростом ниже 170 см и массой тела менее 57,4 кг [18]. Другие авторы к группе риска получения трансплантата диаметром менее 7 мм относят пациентов с массой тела менее 50 кг, ростом менее 140 см, окружностью бедра менее 37 см и индексом массы тела менее 18 [19]. У мужчин обнаружена четкая зависимость толщины сухожилия полусухожильной мышцы от роста – чем выше пациент, тем больше толщина трансплантата. При этом у женщин не установлено четких прогностических критериев (рост, возраст, масса тела) для определения предположительной толщины трансплантата [20].

Помимо использования антропометрических данных для прогнозирования толщины трансплантата возможно применение и дополнительных методов исследования.

В настоящее время имеются данные о высокой прогностической ценности магнитно-резонансной томографии (МРТ) в определении предполагаемого диаметра трансплантата из сухожилий подколенных мышц. В аксиальных срезах производят измерение диаметра сухожилий подколенных мышц на уровне наиболее широкой части мышечков бедренной кости. При суммарной площади поперечных сечений сухожилий нежной и полусухожильной мышц более 22 мм² данные сухожилия в два сложения должны обеспечить трансплантат диаметром более 8 мм [21].

Подобные исследования проводили и в отношении прогнозирования диаметра четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы по данным МРТ. При площади поперечного сечения сухожилия полусухожильной мышцы на уровне суставной линии более 5,9 мм² и на уровне наиболее широкой части мышечков бедренной кости более 8,99 мм² диаметр четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы был не менее 8 мм [22].

Определенной проблемой является недостаточная длина сухожилия полусухожильной мышцы. В биомеханических исследованиях, сравнивающих прочностные характеристики двух-, трех- и четырехпучкового трансплантатов из сухожилия полусухожильной мышцы, обнаружено, что четырехпучковый трансплантат имеет наилучшие прочностные характеристики. При этом конфигурация даже трехпучкового трансплантата обладает достаточными для выдерживания нагрузок в течение ранней реабилитации биомеханическими характеристиками. Авторы исследований сделали вывод о том, что при длине сухожилия полусухожильной мышцы менее 260 мм достаточно использовать утроенное сухожилие [23].

Схожие данные получили и другие авторы, по мнению которых забор сухожилия полусухожильной мышцы из заднего доступа позволяет получить трансплантат диаметром 8 мм и более в 95% наблюдений. Во всех случаях длина четырехпучкового трансплантата была достаточной для выполнения пластики передней крестообразной связки [16].

При использовании только сухожилия полусухожильной мышцы длина трансплантата гораздо меньше, чем при использовании сухожилий обеих подколенных мышц. В этом случае в костные каналы погружается достаточно короткий участок трансплантата. В исследовании Zantop et al. установлено, что погружение трансплантата в бедренный тоннель на глубину 15 мм является достаточным при пластике передней крестообразной связки. Не выявлено статистически значимых различий в жесткости фиксации и кинематике коленного сустава через 6 и 12 недель при сравнении глубины погружения трансплантата на 15 и 25 мм. Полученные данные могут быть объяснены тем, что процессы интеграции трансплантата и кости происходят, главным образом, в области входа трансплантата в тоннель, что подтверждается более выраженными в этой области волокнами Sharpey при гистологическом исследовании [24].

При заборе сухожилий подколенных мышц имеется риск повредить две чувствительные ветви подкожного нерва – поднадколенниковая ветвь (иннервирует кожу переднемедиальной и переднелатеральной поверхностей коленного сустава) и портняжная терминальная веточка (идет вертикально по медиальной поверхности коленного сустава за портняжной мышцей, затем перфорирует фасцию между сухожилиями неж-

ной и портняжной мышц и иннервирует кожу внутренней поверхности голени и голеностопного сустава) [25].

При заборе сухожилий подколенных мышц из стандартного доступа в верхней трети голени вероятность повреждения портняжной терминальной веточки достигает 23%, а обеих веточек – 32%. Интраоперационное повреждение портняжной терминальной веточки связано с продвижением стриппера при заборе сухожилия нежной мышцы, которое располагается достаточно близко к данному нерву. Частота повреждения инфрапателлярной ветви может достигать 74% [26].

Самым эффективным методом снижения частоты повреждения чувствительной инфрапателлярной веточки *n. saphenus*, по мнению многих авторов, является косая или горизонтальная ориентация разреза для забора сухожилия в верхней трети голени [27].

Наиболее перспективным и эффективным методом профилактики повреждения чувствительных нервов является минимально инвазивная техника забора сухожилия полусухожильной мышцы из заднемедиального доступа в подколенной области.

При заборе сухожилия полусухожильной мышцы из заднемедиального разреза длиной около 2 см в подколенной области ни у кого из пациентов не наблюдалось нарушений чувствительности по передней поверхности голени. При этом времени для забора сухожилия из этого доступа требовалось гораздо меньше, чем при стандартном доступе [28]. Использование заднемедиального доступа также решает проблему со сложностью выделения сухожильно-фасциальных перемычек и, как следствие, преждевременной ампутации сухожилия полусухожильной мышцы [4].

Выделение и идентификация сухожилия полусухожильной мышцы при стандартном доступе в верхней трети голени могут быть затруднительными. Наиболее серьезным осложнением при заборе сухожилия из стандартного доступа является риск его преждевременного пересечения стриппером. Данная ситуация может возникнуть, если не пересечены все межсухожильные перемычки, а также при наличии так называемого «добавочного сухожилия» полусухожильной мышцы, которое отделяется от истинного сухожилия и прикрепляется к икроножной фасции. Визуализация и пересечение «добавочного сухожилия» из стандартного доступа значительно

затруднены. Решением данных проблем является использование заднемедиального доступа для забора сухожилия [29].

Перед забором сухожилий подколенных мышц из стандартного доступа по передневнутренней поверхности голени в верхней трети фасциальные перемычки между сухожилием полусухожильной мышцы и фасциальным покрытием медиальной головки икроножной мышцы должны быть выделены и обязательно пересечены во избежание преждевременного отсечения сухожилия стриппером. Такие перемычки располагаются приблизительно на 7 см проксимальнее прикрепления сухожилий полусухожильной и нежной мышц [30]. Выполнение разреза для забора сухожилий подколенных мышц на 2,2 см дистальнее и на 4,5 см медиальнее бугристости большеберцовой кости позволяет облегчить идентификацию и рассечение сухожильных перемычек для выделения сухожилия полусухожильной мышцы [31].

Определенной проблемой является фиксация короткого трансплантата, сформированного из сухожилия полусухожильной мышцы. Длина данного трансплантата сильно ограничивает выбор фиксаторов, оставляя возможным использование только гибридных методов и кортикальной фиксации.

В одном из исследований, оценивающих результаты пластики передней крестообразной связки четырехпучковым трансплантатом из сухожилия полусухожильной мышцы с применением только кортикальной бедренной и большеберцовой фиксации, выявлены отличные клинические результаты через 10 лет после операции. В 7% случаев наблюдалась несостоятельность трансплантата. При рентгенологическом исследовании у 80% пациентов даже через 10 лет обнаружено расширение костных тоннелей более чем на 50%. Тем не менее, даже значительное расширение костных тоннелей на клинических результатах никак не отразилось [32].

При использовании кортикальной фиксации четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы через 6 лет после пластики передней крестообразной связки у 15% пациентов Buchner et al. отмечают расширение бедренного костного тоннеля, а у 40% – большеберцового тоннеля. В экспериментальных исследованиях кортикальная фиксация сухожильного трансплантата показывает лучший результат по сравнению с применением интерферентных винтов при циклических нагрузках. Артроскопическая реконструкция передней крестообразной связки четырехпучковым трансплантатом сухожилия полусухожильной мышцы дает отличные и хорошие функциональные результаты и стабильность у 80–85% пациентов [33].

Таким образом, актуальность использования сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки неуклонно возрастает. Постоянно проводятся исследования, целью которых является уменьшение частоты осложнений, связанных с забором сухожилий подколенных мышц. При этом хирурги стремятся ограничиться лишь забором сухожилия полусухожильной мышцы в тех случаях, когда это представляется возможным. Использовать такой короткий четырехпучковый трансплантат из одного сухожилия достаточной толщины позволяет модификация его подготовки и фиксации. Значительное уменьшение частоты повреждения чувствительных ветвей нервов при заборе сухожилий стало возможным благодаря изменению самой методики получения ауто трансплантата. Благодаря анализу антропометрических данных и данных МРТ пациентов, которым выполняют пластику передней крестообразной связки, стало возможным прогнозирование толщины трансплантата при использовании сухожилий подколенных мышц. К сожалению, осложнения встречаются, но их количество будет неуклонно уменьшаться.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов
The authors state there are no conflicts of interest to declare**

Литература

1. Vaishya R., Agarwal A., Ingole S., Vijay V. Current Trends in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Review. *Cureus*. 2015;7(11):e378. DOI:10.7759/cureus.378
2. Romanini E., D'Angelo F., De Masi S., et al. Graft selection in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Orthop. Traumatol.* 2010;11:211–219. DOI:10.1007/s10195-010-0124-9
3. Shaerf D.A., Pastides P.S., Sarraf K.M., et al. Anterior cruciate ligament reconstruction best practice: A review of graft choice. *World J. Orthop.* 2014;5(1):23–29. DOI:10.5312/wjo.v5.i1.23
4. Kodkani P.S., Govekar D.P., Patankar H.S. A new technique of graft harvest for anterior cruciate ligament reconstruction with quadruple semitendinosus tendon autograft. *Arthroscopy*. 2004;20(8):e101–104. DOI:10.1016/j.arthro.2004.07.016
5. Hamner D.L., Brown C.H. Jr., Steiner M.E., et al. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1999;81(4):549–557. PMID:10225801
6. Schimoler P.J., Braun D.T., Miller M.C., Akhavan S. Quadrupled Hamstring Graft Strength as a Function of Clinical Sizing. *Arthroscopy*. 2015;31(6):1091–1096. DOI:10.1016/j.arthro.2015.01.013
7. Drogset J.O., Strand T., Uppheim G., et al. Autologous patellar tendon and quadrupled hamstring grafts in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized multicenter review of different fixation methods. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2010;18(8):1085–1093. DOI:10.1007/s00167-009-0996-5
8. Barenius B., Nordlander M., Ponzer S., et al. Quality of life and clinical outcome after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon graft or quadrupled semitendinosus graft: an 8-year follow-up of a randomized controlled trial. *Am. J. Sports Med.* 2010;38(8):1533–1541. DOI:10.1177/0363546510369549
9. Tashiro T., Kurosawa H., Kawakami A., et al. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am. J. Sports Med.* 2003;31(4):522–529. PMID:12860539
10. Gobbi A. Single versus double hamstring tendon harvest for ACL reconstruction. *Sports Med. Arthrosc.* 2010;18(1):15–19. DOI:10.1097/JSA.0b013e3181cdeb4a6
11. Zaccherotti G., Olmastroni M. Muscle strength recovery versus semitendinosus and gracilis tendon regeneration after harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Sports Sci.* 2015;33(20):2149–2156. DOI:10.1080/02640414.2015.1066930
12. Makihara Y., Nishino A., Fukubayashi T., Kanamori A. Decrease of knee flexion torque in patients with ACL reconstruction: combined analysis of the architecture and function of the knee flexor muscles. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2006;14(4):310–317. DOI:10.1007/s00167-005-0701-2
13. Karimi-Mobarakeh M., Mardani-Kivi M., Mortazavi A., et al. Role of gracilis harvesting in four-strand hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: a double-blinded prospective randomized clinical trial. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2015;23(4):1086–1091. DOI:10.1007/s00167-014-2890-z
14. Volpi P., Bait C., Cervellin M., et al. No difference at two years between all inside transtibial technique and traditional transtibial technique in anterior cruciate ligament reconstruction. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2014;4(1):95–99. PMID:24932456
15. Pailhé R., Cavaignac E., Murgier J., et al. Biomechanical study of ACL reconstruction grafts. *J. Orthop. Res.* 2015;33(8):1188–1196. DOI:10.1002/jor.22889
16. Nuelle C.W., Cook J.L., Gallizzi M.A., et al. Posterior single-incision semitendinosus harvest for a quadrupled anterior cruciate ligament graft construct: determination of graft length and diameter based on patient sex, height, weight, and body mass index. *Arthroscopy*. 2015;31(4):684–690. DOI:10.1016/j.arthro.2014.10.013
17. Conte E.J., Hyatt A.E., Gatt Jr. C.J., et al. Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Arthroscopy*. 2014;30(7):882–890. DOI:10.1016/j.arthro.2014.03.028
18. Papastergiou S.G., Konstantinidis G.A., Natsis K., et al. Adequacy of semitendinosus tendon alone for anterior cruciate ligament reconstruction graft and prediction of hamstring graft size by evaluating simple anthropometric parameters. *Anat. Res. Int.* 2012;2012:424158. DOI:10.1155/2012/424158
19. Treme G., Diduch D.R., Billante M.J., et al. Hamstring graft size prediction: a prospective clinical evaluation. *Am. J. Sports Med.* 2008;36(11):2204–2209. DOI:10.1177/0363546508319901
20. Ma C.B., Keifa E., Dunn W., et al. Can pre-operative measures predict quadruple hamstring graft diameter? *Knee*. 2010;17(1):81–83. DOI:10.1016/j.knee.2009.06.005
21. Grawe B.M., Williams P.N., Burge A., et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Autologous Hamstring: Can Preoperative Magnetic Resonance Imaging Accurately Predict Graft Diameter? *Orthop. J. Sports Med.* 2016;4(5):2325967116646360. DOI:10.1177/2325967116646360
22. Cobanoglu M., Ozgezmec F.T., Omurlu I.K., et al. Preoperative magnetic resonance imaging evaluation of semitendinosus tendon in anterior cruciate ligament reconstruction: Does this have an effect on graft choice? *Indian J. Orthop.* 2016;50(5):499–504. DOI:10.4103/0019-5413.189612
23. Fabbri M., Monaco E., Lanzetti R.M., et al. Single harvesting in the all-inside graft-link technique: is the graft length crucial for success? A biomechanical study. *J. Orthop. Traumatol.* 2017;18(1):17–22. DOI:10.1007/s10195-016-0420-0
24. Zantop T., Ferretti M., Bell K.M., et al. Effect of tunnel-graft length on the biomechanics of anterior cruciate ligament-reconstructed knees: intra-articular study in a goat model. *Am. J. Sports Med.* 2008;36(11):2158–2166. DOI:10.1177/0363546508320572
25. Ruffilli A., De Fine M., Traina F., et al. Saphenous nerve injury during hamstring tendons harvest: Does the incision matter? A systematic review. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2016 – Jun. 23. [Epub ahead of print] DOI:10.1007/s00167-016-4217-8
26. Sanders B., Rolf R., McClelland W., Xerogeanes J. Prevalence of saphenous nerve injury after autogenous hamstring harvest: an anatomic and clinical study of sartorial branch injury. *Arthroscopy*. 2007;23(9):956–963. DOI:10.1016/j.arthro.2007.03.099

27. Luo H., Yu J.K., Ao Y.F., et al. Relationship between different skin incisions and the injury of the infrapatellar branch of the saphenous nerve during anterior cruciate ligament reconstruction. *Chin. Med. J. (Engl)*. 2007;120(13):1127–1130. PMID:17637238

28. Franz W., Baumann A. Minimally invasive semitendinosus tendon harvesting from the popliteal fossa versus conventional hamstring tendon harvesting for ACL reconstruction: A prospective, randomised controlled trial in 100 patients. *Knee*. 2016;23(1):106–110. DOI:10.1016/j.knee.2015.09.001

29. Prodromos C.C. Posterior mini-incision hamstring harvest. *Sports Med. Arthrosc.* 2010;18(1):12–14. DOI:10.1097/JSA.0b013e3181bf661d

30. Ferrari J.D., Ferrari D.A. The semitendinosus: anatomic considerations in tendon harvesting. *Orthop. Rev.* 1991;20(12):1085–1088. PMID:1771105

31. Tillett E., Madsen R., Rogers R., Nyl- and J. Localization of the semitendinosus-gracilis tendon bifurcation point relative to the tibial tuberosity: an aid to hamstring tendon harvest. *Arthroscopy*. 2004;20(1):51–54. DOI:10.1016/j.arthro.2003.11.003

32. Streich N.A., Reichenbacher S., Barié A., et al. Long-term outcome of anterior cruciate ligament reconstruction with an autologous four-strand semitendinosus tendon autograft. *Int. Orthop.* 2013;37(2):279–284. DOI:10.1007/s00264-012-1757-5.

33. Buchner M., Schmeer T., Schmitt H. Anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled semitendinosus tendon – minimum 6 year clinical and radiological follow-up. *Knee*. 2007;1(4):321–327. DOI:10.1016/j.knee.2007.04.006

References

1. Vaishya R., Agarwal A., Ingle S., Vijay V. Current Trends in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Review. *Cureus*. 2015;7(11):e378. DOI:10.7759/cureus.378

2. Romanini E., D'Angelo F., De Masi S., et al. Graft selection in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Traumatol*. 2010;11:211–219. DOI:10.1007/s10195-010-0124-9

3. Shaerf D.A., Pastides P.S., Sarraf K.M., et al. Anterior cruciate ligament reconstruction best practice: A review of graft choice. *World J Orthop*. 2014;5(1):23–29. DOI:10.5312/wjo.v5.i1.23

4. Kodkani P.S., Govekar D.P., Patankar H.S. A new technique of graft harvest for anterior cruciate ligament reconstruction with quadruple semitendinosus tendon autograft. *Arthroscopy*. 2004;20(8):e101–104. DOI:10.1016/j.arthro.2004.07.016

5. Hamner D.L., Brown C.H. Jr., Steiner M.E., et al. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am*. 1999;81(4):549–557. PMID:10225801

6. Schimoler P.J., Braun D.T., Miller M.C., Akhavan S. Quadrupled Hamstring Graft Strength as a Function of Clinical Sizing. *Arthroscopy*. 2015;31(6):1091–1096. DOI:10.1016/j.arthro.2015.01.013

7. Drogset J.O., Strand T., Uppheim G., et al. Autologous patellar tendon and quadrupled hamstring grafts in ante-

rior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized multicenter review of different fixation methods. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(8):1085–1093. DOI:10.1007/s00167-009-0996-5

8. Barenus B., Nordlander M., Ponzer S., et al. Quality of life and clinical outcome after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon graft or quadrupled semitendinosus graft: an 8-year follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*. 2010;38(8):1533–1541. DOI:10.1177/0363546510369549

9. Tashiro T., Kurosawa H., Kawakami A., et al. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med*. 2003;31(4):522–529. PMID:12860539

10. Gobbi A. Single versus double hamstring tendon harvest for ACL reconstruction. *Sports Med Arthrosc.* 2010;18(1):15–19. DOI:10.1097/JSA.0b013e3181cdeb46

11. Zaccherotti G., Olmastroni M. Muscle strength recovery versus semitendinosus and gracilis tendon regeneration after harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sports Sci*. 2015;33(20):2149–2156. DOI:10.1080/02640414.2015.1066930

12. Makihara Y., Nishino A., Fuku-

bayashi T., Kanamori A. Decrease of knee flexion torque in patients with ACL reconstruction: combined analysis of the architecture and function of the knee flexor muscles. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(4):310–317. DOI:10.1007/s00167-005-0701-2

13. Karimi-Mobarakeh M., Mardani-Kivi M., Mortazavi A., et al. Role of gracilis harvesting in four-strand hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: a double-blinded prospective randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(4):1086–1091. DOI:10.1007/s00167-014-2890-z

14. Volpi P., Bait C., Cervellin M., et al. No difference at two years between all inside transtibial technique and traditional transtibial technique in anterior cruciate ligament reconstruction. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2014;4(1):95–99. PMID:24932456

15. Pailh R., Cavaignac E., Murgier J., et al. Biomechanical study of ACL reconstruction grafts. *J Orthop Res*. 2015;33(8):1188–1196. DOI:10.1002/jor.22889

16. Nuelle C.W., Cook J.L., Gallizzi M.A., et al. Posterior single-incision semitendinosus harvest for a quadrupled anterior cruciate ligament graft construct: determination of graft length and diameter based on patient sex, height, weight, and body mass index. *Arthroscopy*. 2015;31(4):684–690. DOI:10.1016/j.

arthro.2014.10.013

17. Conte E.J., Hyatt A.E., Gatt Jr C.J., et al. Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Arthroscopy*. 2014;30(7):882–890. DOI:10.1016/j.arthro.2014.03.028

18. Papastergiou S.G., Konstantinidis G.A., Natsis K., et al. Adequacy of semitendinosus tendon alone for anterior cruciate ligament reconstruction graft and prediction of hamstring graft size by evaluating simple anthropometric parameters. *Anat Res Int*. 2012;2012:424158. DOI:10.1155/2012/424158

19. Treme G., Diduch D.R., Billante M.J., et al. Hamstring graft size prediction: a prospective clinical evaluation. *Am J Sports Med*. 2008;36(11):2204–2209. DOI:10.1177/0363546508319901

20. Ma C.B., Keifa E., Dunn W., et al. Can pre-operative measures predict quadruple hamstring graft diameter? *Knee*. 2010;17(1):81–83. DOI:10.1016/j.knee.2009.06.005

21. Grawe B.M., Williams P.N., Burge A., et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Autologous Hamstring: Can Preoperative Magnetic Resonance Imaging Accurately Predict Graft Diameter? *Orthop J Sports Med*. 2016;4(5):2325967116646360. DOI:10.1177/2325967116646360

22. Cobanoglu M., Ozgezmec F.T., Omurlu I.K., et al. Preoperative magnetic resonance imaging evaluation of semitendinosus tendon in anterior cruciate ligament reconstruction: Does this have an

effect on graft choice? *Indian J Orthop*. 2016;50(5):499–504. DOI:10.4103/0019-5413.189612

23. Fabbri M., Monaco E., Lanzetti R.M., et al. Single harvesting in the all-inside graft-link technique: is the graft length crucial for success? A biomechanical study. *J Orthop Traumatol*. 2017;18(1):17–22. DOI:10.1007/s10195-016-0420-0

24. Zantop T., Ferretti M., Bell K.M., et al. Effect of tunnel-graft length on the biomechanics of anterior cruciate ligament-reconstructed knees: intra-articular study in a goat model. *Am J Sports Med*. 2008;36(11):2158–2166. DOI:10.1177/0363546508320572

25. Ruffilli A., De Fine M., Traina F., et al. Saphenous nerve injury during hamstring tendons harvest: Does the incision matter? A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Jun 23. [Epub ahead of print]. DOI:10.1007/s00167-016-4217-8

26. Sanders B., Rolf R., McClelland W., Xerogeanes J. Prevalence of saphenous nerve injury after autogenous hamstring harvest: an anatomic and clinical study of sartorial branch injury. *Arthroscopy*. 2007;23(9):956–963. DOI:10.1016/j.arthro.2007.03.099

27. Luo H., Yu J.K., Ao Y.F., et al. Relationship between different skin incisions and the injury of the infrapatellar branch of the saphenous nerve during anterior cruciate ligament reconstruction. *Chin Med J (Engl)*. 2007;120(13):1127–1130.

PMID:17637238

28. Franz W., Baumann A. Minimally invasive semitendinosus tendon harvesting from the popliteal fossa versus conventional hamstring tendon harvesting for ACL reconstruction: A prospective, randomised controlled trial in 100 patients. *Knee*. 2016;23(1):106–110. DOI:10.1016/j.knee.2015.09.001

29. Prodromos C.C. Posterior mini-incision hamstring harvest. *Sports Med Arthrosc*. 2010;18(1):12–14. DOI:10.1097/JSA.0b013e3181bf661d

30. Ferrari J.D., Ferrari D.A. The semitendinosus: anatomic considerations in tendon harvesting. *Orthop Rev*. 1991;20(12):1085–1088. PMID:1771105

31. Tillett E., Madsen R., Rogers R., Nyl- and J. Localization of the semitendinosus-gracilis tendon bifurcation point relative to the tibial tuberosity: an aid to hamstring tendon harvest. *Arthroscopy*. 2004;20(1):51–54. DOI:10.1016/j.arthro.2003.11.003

32. Streich N.A., Reichenbacher S., Barié A., et al. Long-term outcome of anterior cruciate ligament reconstruction with an autologous four-strand semitendinosus tendon autograft. *Int Orthop*. 2013;37(2):279–284. DOI:10.1007/s00264-012-1757-5

33. Buchner M., Schmeer T., Schmitt H. Anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled semitendinosus tendon – minimum 6 year clinical and radiological follow-up. *Knee*. 2007;1(4):321–327. DOI:10.1016/j.knee.2007.04.006