



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ И УСТАНОВКИ ЧЕТЫРЕХПУЧКОВОГО АУТОТРАНСПЛАНТАТА ИЗ СУХОЖИЛИЯ ПОЛУСУХОЖИЛЬНОЙ МЫШЦЫ ПРИ ПЛАСТИКЕ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

В.В. Сластинин*, А.М. Файн, М.В. Сычевский, В.Б. Бондарев

Клинический медицинский центр Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, РФ

Цель исследования: модифицировать кортикальную методику фиксации аутотрансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы для пластики передней крестообразной связки, позволяющую обеспечить плотный контакт сухожилия внутри костных тоннелей.

Материалы и методы. Проанализированы несколько описанных способов фиксации трансплантата, направленных на формирование максимальной площади контакта трансплантата и кости при использовании в качестве трансплантата сухожилий подколенных мышц. В предложенном нами способе трансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы фиксируют кортикальными фиксаторами, во время установки трансплантата проксимальный и дистальный его концы гофрируются и увеличиваются в диаметре, что обеспечивает плотную дополнительную внутритуннельную фиксацию трансплантата. Для тестирования использовали материал (6 сухожилий полусухожильной мышцы), полученный от трех кадаверов. Подготовленный по предложенной нами методике трансплантат тестировали на разрыв. Потенциальную плотность фиксации в тоннелях оценивали по степени увеличения диаметра трансплантата в тоннелях после его установки.

Результаты. Диаметр проксимального конца трансплантата при затягивании гофрирующих швов увеличивался на $2,5 \pm 0,55$ мм, дистального — на $2,67 \pm 0,52$ мм. При проведении тестирования на разрыв соединения трансплантата и нитей, фиксирующих трансплантат к кортикальным фиксаторам, значение показателя упругой деформации составило в среднем $364,83 \pm 69,16$ Н.

Заключение. Предложенная нами модификация кортикальной методики фиксации аутотрансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы позволяет обеспечить плотный контакт сухожилия внутри костных тоннелей и обеспечивает достаточную для реабилитации пациентов прочность.

Ключевые слова: пластика передней крестообразной связки, метод фиксации, сухожилия подколенных мышц, четырехпучковый аутотрансплантат из сухожилия полусухожильной мышцы

Конфликт интересов: не заявлен

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки

Для цитирования: Сластинин В.В., Файн А.М., Сычевский М.В., Бондарев В.Б. Экспериментальное обоснование нового способа подготовки и установки четырехпучкового ауто-трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы при пластике передней крестообразной связки. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2018; 2: 41–46. <https://doi.org/10.32414/0869-8678-2018-2-41-46>

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF A NEW METHOD FOR PREPARATION AND PLACEMENT OF QUADRUPLED SEMITENDINOSUS AUTOGRAFT FOR ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION

V.V. Slastinin*, A.M. Fain, M.V. Sychevskiy, V.B. Bondarev

Clinical Medical Center of Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia

Purpose: to modify the cortical technique of quadrupled semitendinosus autograft fixation for anterior cruciate ligament reconstruction that enables to achieve tight contact of the tendon within the bone tunnels.

Material and methods. Several described methods of graft fixation directed to the formation of maximum contact area between the popliteus tendon graft and the bone are analyzed. In the proposed technique a semitendinosus graft is fixed by cortical fixatives. During graft placement its proximal and distal ends are corrugated and increase in diameter providing additional close intra-tunnel fixation of the graft. Testing for rupture was performed on the material (6 semitendinosus tendons) from 3 cadavers. Potential fixation tightness within the tunnels was assessed by the degree of graft diameter enlargement after its placement.

Results. At corrugated sutures tightening the proximal and distal diameters of the graft ends increased by 2.5 ± 0.55 and 2.67 ± 0.55 mm, respectively. Testing for rupture showed elastic deformation mean value of 364.83 ± 69.16 N.

Conclusion. The proposed modification for cortical technique of semitendinosus autograft fixation enables to ensure the close contact of the tendon within the bone tunnels and sufficient strength for the patients' rehabilitation.

Key words: anterior cruciate ligament reconstruction, fixation technique, popliteus tendons, quadrupled semitendinosus autograft

Conflict of interest: the authors state no conflict of interest

Funding: the study was performed with no external funding

For citation: Slastinin V.V., Fain A.M., Sychevskiy M.V., Bondarev V.B. Experimental Substantiation of a New Method for Preparation and Placement of Quadrupled Semitendinosus Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics. 2018; 2: 41–46 (in Russian). <https://doi.org/10.32414/0869-8678-2018-2-41-46>

Введение. Интеграция сухожилия и кости при использовании для пластики передней крестообразной связки сухожилий подколенных мышц является существенной проблемой. Биологические процессы, протекающие на границе «сухожильный трансплантат — костный тоннель», остаются не до конца изученными [1].

При пластике передней крестообразной связки необходима прочная фиксация трансплантата в тоннелях. Появление коллагеновых волокон между трансплантатом и стенками костного тоннеля инициируется образованием волокон Sharpey, что напрямую зависит от площади контакта между трансплантатом и костью. Интерферентные резорбируемые винты ограничивают зону контакта между сухожилием и костным тоннелем, так как большая часть тоннеля заполняется самим винтом, в то время как кортикальная фиксация лишена этого недостатка [2].

За последние 25 лет опубликовано множество статей, посвященных такому феномену, как расширение костных тоннелей после пластики передней крестообразной связки. Частота этого осложнения в случае использования сухожилий подколенных мышц на бедренной кости оценивается различными авторами в 25–100%, а на большеберцовой кости — в 29–100% [3].

Использование кортикальных фиксаторов (фиксаторов-застежек) обуславливает подвижность трансплантата в костном канале; с другой стороны, применение интерферентных винтов также способствует расширению тоннелей. В одном из исследований, посвященных сравнению накостной фиксации и фиксации интерферентным винтом, выявлено, что расширение костных тоннелей происходит и в том, и в другом случае, только при фиксации винтами это происходит сразу за счет сминания стенки канала винтами, а при накостной фиксации — в течение первых 6 мес, а затем оно уменьшается. В этом же исследовании показано, что расширение костных тоннелей никак не влияло на стабильность сустава и клинический результат в течение 2-летнего периода наблюдения [4].

Большинство авторов едины во мнении, что феномен расширения костных тоннелей не имеет четкой взаимосвязи с клиническими результатами пластики передней крестообразной связки [5–8]. В то же время он является причиной значительных проблем при ревизионных операциях, что может потребовать дополнительного этапа лечения в виде костной пластики [9]. При этом частота повторных повреждений передней крестообразной связки после ее пластики достигает 7% [10].

Помимо прочной фиксации сухожильного трансплантата в тоннелях важна также защита трансплантата в полости сустава. Одним из таких методов, позволяющих снизить риск удлинения трансплантата в раннем послеоперационном периоде, является аугментация (увеличение прочности) трансплантата с помощью синтетических нитей [11].

Не последней по значимости является экономическая составляющая операций, связанная с использованием расходных материалов. Учитывая высокую частоту артроскопической пластики передней крестообразной связки, даже небольшая разница в стоимости расходных материалов из расчета на одну операцию может дать значительную экономическую выгоду в долгосрочной перспективе [12].

Целью нашей работы была модификация кортикальной методики фиксации аутооттрансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы, позволяющая обеспечить плотный контакт сухожилия внутри костных тоннелей и уменьшить затраты на используемые во время операции расходные материалы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мы проанализировали несколько описанных способов фиксации трансплантата, направленных на создание максимальной площади контакта трансплантата и кости при использовании в качестве трансплантата сухожилий подколенных мышц.

Известен способ безимплантатной фиксации трансплантата из сухожилий подколенных мышц, позволяющий избежать осложнений, связанных с установкой имплантатов в костные тоннели. В этом случае трансплантат проводят из бедренного тоннеля в полость сустава и большеберцовый тоннель. Фиксация в бедренном ступенчатом тоннеле (более широкая его часть находится проксимально, более узкая — дистально) обеспечивается заклиниванием проксимального конца трансплантата, предварительно многократно прошитого нитями для увеличения его толщины. В большеберцовом тоннеле фиксация достигается за счет завязывания нитей, проведенных через дистальный конец трансплантата, над костным мостиком между большеберцовым тоннелем и каналом [13]. Однако при этом способе для формирования четырехпучкового трансплантата необходимы два сухожилия — полусухожильной и нежной мышц, а также дополнительный доступ по наружной поверхности бедренной кости для проведения трансплантата, что значительно увеличивает травматичность операции.

Описан также способ подготовки четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы для использования по методике «all-inside», при котором в бедренной и большеберцовой костях формируют два ступенчатых тоннеля и трансплантат вводят в оба тоннеля из полости сустава, а затем фиксируют кортикальными фиксаторами на бедренной и большеберцовой костях [14, 15]. При этом способе формирования трансплантата показатель упругой деформации равен в среднем 760 Н, а удлинение трансплантата до разрыва составляет около 7 мм [16].

При использовании обоих описанных выше способов между трансплантатом и стенками кост-

ных тоннелей образуется пространство, куда попадает внутрисуставная жидкость, что препятствует интеграции сухожилия и кости [17].

При другом оригинальном способе проксимальный конец трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы (устанавливаемый в тоннель бедренной кости) прошивают стандартным способом, подходящим для кортикальной фиксации на бедренной кости. Дистальный конец прошивают гофрирующим (при потягивании за нити) швом, проксимальнее гофрирующего шва для дополнительной фиксации проводят нить Ethibond №2. После установки трансплантата нити гофрирующего шва натягивают и завязывают над костным мостиком вместе с нитями Ethibond №2. В случае использования данного способа показатель упругой деформации трансплантата достигает 810 Н [18]. Применение гофрирующего шва в описанном способе позволяет решить проблему неплотного прилегания трансплантата к стенкам костного тоннеля только в большеберцовой кости. При натяжении и проведении трансплантата до его окончательной фиксации могут возникать проблемы (особенно при движении трансплантата в дистальном направлении во время его натягивания), связанные с препятствием движению трансплантата из-за подворачивания его дистального свободного конца (который гофрируется, т. е. расширяется и укорачивается, при потягивании за нити).

Вопрос об аугментации трансплантата синтетическими материалами в научных публикациях поднимался неоднократно, что обусловлено повышением вероятности удлинения трансплантата и его повреждением в течение первого года после пластики передней крестообразной связки, так как в этот период прочность трансплантата составляет 30–50% от прочности нативной передней крестообразной связки [11].

При разработке новой техники основной нашей задачей было обеспечить условия для проксимальной и дистальной фиксации четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы в каналах бедренной и большеберцовой костей при пластике передней крестообразной связки, обеспечивающей плотный контакт трансплантата со стенками костного тоннеля на максимальной площади, а также аугментация трансплантата нитями.

В предлагаемом способе для формирования трансплантата используется только сухожилие полусухожильной мышцы, которое фиксируют кортикальными (накостными) фиксаторами на бедренной и большеберцовой костях. Во время установки трансплантата проксимальный и дистальный его концы гофрируются и увеличиваются в диаметре, за счет чего обеспечивается плотная дополнительная внутритуннельная фиксация трансплантата, предотвращающая попадание внутрисуставной жидкости между трансплантатом и стенками тоннелей, что обеспечивает интеграцию сухожильного трансплантата и кости по

всей окружности без использования дополнительных внутриканальных фиксаторов (рис. 1, 2).

Техника подготовки и установки трансплантата. Забор сухожилия полусухожильной мышцы осуществляют через стандартный доступ по передневноутренней поверхности голени в верхней трети или через доступ в подколенной области. После извлечения сухожилие на препаровочном столике освобождают от мышечной ткани и сухожильных перемычек. В двух фиксаторах препаровочного столика фиксируют концы двух длинных нитей 1 и 2, сложенных пополам таким образом, чтобы из них образовались две петли напротив друг друга. Сухожилие продевают через образовавшиеся петли так, чтобы каждый из его концов прошел через каждую петлю дважды, при этом один из концов продевается по часовой стрелке, а другой — против. Затем оба конца сопоставляют друг с другом и прошивают одинарным провизорным швом. Область контакта свободных концов сухожилия смещают к проксимальному или дистальному концу трансплантата. В результате формируется четырехпучковый трансплантат. Методика формирования данного трансплантата подробно описана в работах J.H. Lubowitz [14]. При умеренном потягивании за нити 1 и 2, закрепленные в фиксаторах препаровочного столика, трансплантат из округлой формы приобретает вытянутую. Пучки трансплантата располагают таким образом, чтобы область контакта свободных концов сухожилия оказалась прикрыта окружающими пучками. Далее формируют дистальный и проксимальный циркулярные швы, затем гофрирующие швы.

Трансплантат вводят ретроградно через большеберцовый тоннель, в полость коленного сустава, а затем в бедренный тоннель по стандартной методике, используемой для кортикальной бедренной фиксации. Через бедренный тоннель в проксимальном направлении тягу для проведения трансплантата осуществляют за концы нити 1. После установки трансплантата центральная его часть находится в полости коленного сустава, проксимальная часть (прошита нитью 5) погружена в бедренный костный тоннель, дистальная часть (прошита нитью 6) занимает проксимальную часть большеберцового тоннеля. После блокирования на бедренной кости кортикального фиксатора при постоянной тяге за нить 2 выполняют несколько циклов пассивного сгибания и разгибания в коленном суставе, затем нити 1 и 2 удаляют путем вытягивания их за один из концов. Концы нитей 5, 6 и 8 продевают попарно в большеберцовый кортикальный фиксатор. Далее постоянную тягу осуществляют только за концы нити 8.

Осуществляют натяжение концов нити 5, в результате чего проксимальный конец трансплантата гофрируется в бедренном тоннеле, увеличивая диаметр проксимальной части трансплантата. Концы нити 5 завязывают в натяжении на кортикальном большеберцовом фиксаторе. Затем в состоянии натяжения на кортикальном больше-

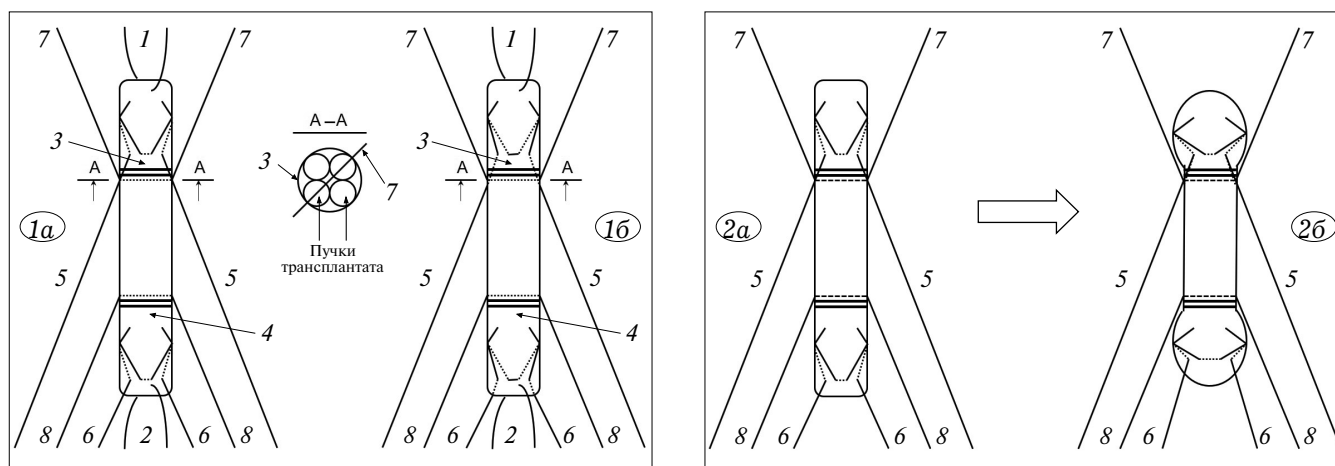


Рис. 1. Вид подготовленного четырехпучкового трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы спереди (а) и сзади (б). Здесь и на рис. 2: 1 — нить в проксимальном конце трансплантата для его проведения через большеберцовый и бедренный тоннели; 2 — нить в дистальном конце трансплантата для его временного натяжения; 3 — проксимальная нить, которой прошиты и обернуты вокруг все пучки трансплантата с образованием проксимального циркулярного шва; 4 — дистальная нить, которой прошиты и обернуты вокруг все пучки трансплантата с образованием дистального циркулярного шва; 5 — нить проксимального гофрирующего шва; 6 — нить дистального гофрирующего шва; 7 — проксимальная нить для окончательной кортикальной фиксации трансплантата на бедренной кости; 8 — дистальная нить для окончательной кортикальной фиксации трансплантата на большеберцовой кости.

Fig. 1. A four-bundle transplant prepared from the tendon of the semitendinosus muscle: front view (a) and back view (b).

Here and in Fig. 2: 1 — a thread in the proximal end of the transplant for passing it through the tibial and femoral tunnels; 2 — a thread in the distal end of the transplant for its temporary tension; 3 — a proximal thread, by which all the transplant bundles are stitched and wrapped around with the formation of a proximal circular suture; 4 — a distal thread, by which all the bundles of the transplant are stitched and wrapped around with the formation of the distal circular suture; 5 — the thread of proximal crimping suture; 6 — the thread of the distal crimping suture; 7 — a proximal thread for a final cortical fixation of the transplant on the femur; 8 — a distal thread for a final cortical fixation of the transplant on the tibia.

Рис. 2. Вид трансплантата до (а) и после (б) затягивания гофрирующих швов.

Fig. 2. View of the transplant before (a) and after (b) the tightening of the crimping suture.

берцовом фиксаторе завязывают сначала концы нитей 8, а затем концы гофрирующей нити 6, в результате чего дистальный конец трансплантата гофрируется в большеберцовом тоннеле, увеличивая диаметр дистальной части трансплантата. Концы нитей срезают.

Для тестирования надежности соединения нитей, фиксирующих трансплантат к кортикальным пуговицам, а также для определения величины расширения концов сухожилий при тяге за гофрирующие нити использовали материал (6 сухожилий полусухожильной мышцы), полученный от трех кадаверов (двух женщин и одного мужчины возраста $72,3 \pm 13,9$ года). Консервацию сухожилий после забора проводили в растворе 5% формальдегида. Из сухожилий формировали трансплантаты по описанной выше методике. С помощью измерителя толщины трансплантата (Karl Storz 28729SA) определяли диаметр проксимального и дистального концов трансплантатов до и после потягивания за концы гофрирующих нитей. Затем трансплантаты фиксировали в специальных зажимах универсальной тестирующей машины LFM-50 в лаборатории НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова за нити, проведенные в поперечном по отношению к трансплантату направлении, и тестировали подготовленные таким образом трансплантаты на разрыв.

Для оценки экономической эффективности мы опирались на данные, представленные J. Cour-

pareau и соавт. [12], сравнивших стоимость расходных материалов для стандартной методики пластики передней крестообразной связки с использованием двух интерферентных винтов и для методики «all-inside». Авторы определили, что материальные затраты для методики «all-inside» на 18% выше по сравнению с традиционной за счет использования дополнительных одноразовых материалов, при этом стоимость самих двух фиксирующих пуговиц ниже стоимости двух интерферентных винтов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вне тоннеля диаметр проксимального конца трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы при затягивании гофрирующих швов увеличивался на $2,5 \pm 0,55$ мм, дистального — на $2,67 \pm 0,52$ мм. При проведении тестирования на разрыв соединения трансплантата и нитей, фиксирующих трансплантат к кортикальным фиксаторам, упругая деформация наблюдалась при значениях нагрузки до $364,83 \pm 69,16$ Н, затем констатировали начало пластической деформации. Среднее удлинение трансплантата перед его разрывом составило $7,67 \pm 1,21$ мм. Механизм повреждения соединения «трансплантат–нити» во всех случаях был одинаковым — отклонение (угловая деформация в области циркулярных швов) проксимального или дистального конца трансплантата

Табл. Результаты лабораторного тестирования трансплантатов
Table. The results of transplant laboratory testing

Трансплантат	Удлинение трансплантата до его разрыва, мм	Максимальная величина упругой деформации, Н	Увеличение толщины проксимального конца сухожилия при затягивании гофрирующих швов, мм	Увеличение толщины дистального конца сухожилия при затягивании гофрирующих швов, мм
1	6	444,5	3	2
2	7	349,5	3	3
3	9	296	2	3
4	9	278	2	3
5	7	431,5	2	3
6	8	389,5	3	2
Среднее	7,67±1,21	364,83±69,16	2,5±0,55	2,67±0,52

и последующее повреждение боковой поверхности трансплантата поперечной нитью (см. таблицу).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных тестов с подготовленными по нашей методике трансплантатами дают основание предполагать плотную фиксацию трансплантата в костных тоннелях при пластике передней крестообразной связки. Так, диаметр проксимального и дистального концов трансплантата за счет затягивания гофрирующих нитей увеличивался более чем на 2 мм. Этого вполне достаточно, учитывая тот факт, что костные тоннели при пластике передней крестообразной связки формируются сверлами такого же диаметра, что и сам трансплантат. Показатели прочности на разрыв в нашем исследовании заметно меньше таковых в аналогичном исследовании трансплантата, подготовленного для использования по методике «all-inside» — 365 и 760 Н соответственно [19]. Однако полученных нами показателей достаточно для того, чтобы выдержать нагрузки, которые испытывает трансплантат во время реабилитации пациентов, так как по некоторым данным эта величина составляет менее 250 Н [20]. Более того, концы наших трансплантатов при тестировании не находились в тоннелях, т. е. не было факторов, препятствующих угловой деформации трансплантата в области наложения циркулярных швов и нитей, фиксирующих трансплантат к кортикальным фиксаторам, тогда как пластическая деформация (разрыв) возникла только после угловой деформации трансплантата в области циркулярных швов. При дополнительной стабилизации концов трансплантата (как это происходит в костных тоннелях у пациентов), прочностные характеристики увеличиваются, но в нашем эксперименте тестирование с дополнительной стабилизацией, имитирующей костные тоннели, не проводилось.

Учитывая отсутствие необходимости в дополнительных специфических расходных материалах и использование только двух фиксирующих кортикальных пуговиц, которые дешевле интерферентных винтов, предложенная нами методика является экономически обоснованной [12].

Заключение. У предложенной нами техники прошивания и установки трансплантата из

сухожилия полусухожильной мышцы при пластике передней крестообразной связки имеется несколько преимуществ перед уже известными техниками, ориентированными на отказ от внутритуннельной фиксации. Во-первых, она обеспечивает максимально плотную фиксацию и большую площадь контакта в костных тоннелях не только в большеберцовой кости, но и в бедренной. Во-вторых, позволяет облегчить установку трансплантата за счет традиционного его введения через сквозной туннель в большеберцовой кости и увеличить диаметр концов трансплантата только после его окончательного позиционирования. В-третьих, при данной технике осуществляется дополнительная аугментация трансплантата синтетическими нитями, что защищает трансплантат на начальных этапах реабилитации. В-четвертых, она экономически целесообразна, так как не требует дополнительных финансовых затрат на материалы одноразового использования, предусмотренные техникой «all-inside».

Для подтверждения эффективности предложенного нами способа необходимо накопление клинического материала, а также тщательный анализ полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Chen C.H. Strategies to enhance tendon graft-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Chang Gung Med. J.* 2009; 32 (5): 483-93.
2. Colombet P., Graveleau N., Jambou S. Incorporation of hamstring grafts within the tibial tunnel after anterior cruciate ligament reconstruction: magnetic resonance imaging of suspensory fixation versus interference screws. *Am. J. Sports Med.* 2016; 44 (11): 2838-45. doi: 10.1177/0363546516656181.
3. Stolarz M., Ficek K., Binkowski M., Wróbel Z. Bone tunnel enlargement following hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review. *Phys. Sportsmed.* 2017; 45 (1): 31-40. doi: 10.1080/00913847.2017.1253429.
4. Buelow J.U., Siebold R., Ellermann A. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2002; 10 (2): 80-5.
5. Lind M., Feller J., Webster K.E. Bone tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction using EndoButton or EndoButton continuous loop. *Arthroscopy.* 2009; 25 (11): 1275-80. doi: 10.1016/j.arthro.2009.06.003.
6. Lind M., Feller J., Webster K.E. Tibial bone tunnel widening is reduced by polylactate/hydroxyapatite inter-

- ference screws compared to metal screws after ACL reconstruction with hamstring grafts. *Knee*. 2009; 16 (6): 447-51. doi: 10.1016/j.knee.2009.04.003.
7. Iorio R., Di Sanzo V., Vadalà A. et al. ACL reconstruction with hamstrings: how different technique and fixation devices influence bone tunnel enlargement. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci*. 2013; 17 (21): 2956-61.
8. Weber A.E., Delos D., Oltean H.N. et al. Tibial and femoral tunnel changes after ACL reconstruction: a prospective 2-year longitudinal MRI study. *Am. J. Sports Med*. 2015; 43 (5): 1147-56. doi: 10.1177/0363546515570461.
9. Zhang Q., Zhang S., Cao X. et al. The effect of remnant preservation on tibial tunnel enlargement in ACL reconstruction with hamstring autograft: a prospective randomized controlled trial. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc*. 2014; 22 (1): 166-73. doi: 10.1007/s00167-012-2341-7.
10. Wiggins A.J., Grandhi R.K., Schneider D.K. et al. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Sports Med*. 2016; 44 (7): 1861-76. doi: 10.1177/0363546515621554.
11. Aboalata M., Elazab A., Halawa A. et al. Internal suture augmentation technique to protect the anterior cruciate ligament reconstruction graft. *Arthrosc. Tech*. 2017; 6 (5): e1633-e1638. doi: 10.1016/j.eats.2017.06.020.
12. Cournapeau J., Klouche S., Hardy P. Material costs of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons by two different techniques. *Orthop. Traumatol. Surg Res*. 2013; 99 (2): 196-201. doi: 10.1016/j.otsr.2012.10.013.
13. Paessler H.H., Mastrokalos D.S. Anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendons, bone patellar tendon, or quadriceps tendon-graft with press-fit fixation without hardware. A new and innovative procedure. *Orthop. Clin. North Am*. 2003; 34 (1): 49-64.
14. Lubowitz J.H. All-inside anterior cruciate ligament graft link: graft preparation technique. *Arthrosc. Tech*. 2012; 1 (2): e165-8. doi: 10.1016/j.eats.2012.06.002.
15. Lubowitz J.H., Ahmad C.S., Anderson K. All-inside anterior cruciate ligament graft-link technique: second-generation, no-incision anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2011; 27 (5): 717-27. doi: 10.1016/j.arthro.2011.02.008.
16. Mayr R., Heinrichs C.H., Eichinger M. et al. Preparation techniques for all-inside ACL cortical button grafts: a biomechanical study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc*. 2016; 24 (9): 2983-9. doi: 10.1007/s00167-015-3605-9.
17. Iorio R., Vadalà A., Di Vavo I. et al. Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction in patients with post-operative septic arthritis. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc*. 2008; 16 (10): 921-7. doi: 10.1007/s00167-008-0575-1.
18. Kwisda S., Dratzidis A., Ettinger M. et al. A novel pull-press fixation: improved mechanical performance with any graft without hardware. *Tech. Orthop*. 2013; 28 (2): 176-9. doi: 10.1097/BTO.0b013e318299539.
19. Mayr R., Heinrichs C.H., Eichinger M. et al. Preparation techniques for all-inside ACL cortical button grafts: a biomechanical study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc*. 2016; 24 (9): 2983-9. doi: 10.1007/s00167-015-3605-9.
20. Hosseini A., Gill T.J., Van de Velde S.K., Li G. Estimation of in vivo ACL force changes in response to increased weightbearing. *J. Biomech. Eng*. 2011; 133 (5): 051004. doi: 10.1115/1.4003780.

Сведения об авторах: Сластинин В.В. — врач травматолог-ортопед клинического медицинского центра МГМСУ им. А.И. Евдокимова; Файн А.М. — доктор мед. наук, зав. научным отделом неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата НИИ СП им. Н.В. Склифосовского; Сычевский М.В. — канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед клинического медицинского центра МГМСУ им. А.И. Евдокимова; Бондарев В.Б. — младший науч. сотр. отделения неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата НИИ СП им. Н.В. Склифосовского.

Для контактов: Сластинин Владимир Викторович. E-mail: slastinin@gmail.com.

Contact: Slastinin Vladimir V. — Trauma and orthopaedic surgeon, Clinical Medical Center of MSUMD named after A.I. Evdokimov. E-mail: slastinin@gmail.com.