

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СУХОЖИЛЬНОГО АЛЛОТРАНСПЛАНТАТА ДЛЯ АРТРОСКОПИЧЕСКОЙ ПЛАСТИКИ ЗАДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

Д.А. Шулепов, М.Р. Салихов, И.А. Кузнецов, О.В. Злобин

ФГБУ «РНИИТО им. П. П. Вредена» Минздрава России

На основании полученной при топографо-анатомическом исследовании коленного сустава информации были разработаны критерии выбора аллосухожильев с учетом его размерных и прочностных характеристик. Исходя из этих критериев, был выбран наиболее подходящий для пластики задней крестообразной связки (ЗКС) трансплантат, а его механическая прочность исследована на разрывной машине. Были исследованы различные виды аллосухожильев, стерилизованных в жидкостной среде Белякова. Прочностные свойства алломатериала сравнивались с аналогичными характеристиками нативной ЗКС, полученными на том же этапе исследования. Выявлено, что оптимальным по размерным и прочностным характеристикам является сухожилие длинной малоберцовой мышцы, что позволяет рекомендовать его для аллопластики задней крестообразной связки.

Ключевые слова: артроскопия, аллопластика, повреждение ЗКС.

DOI 10.19163/1994-9480-2018-1(65)-34-39

THE CHOICE OF THE OPTIMAL TENDON ALLOTRANSPLANT FOR ARTHROSCOPIC PLASTY OF THE POSTERIOR CRUCIATE LIGAMENT OF THE KNEE JOINT

D.A. Shulepov, M.R. Salihov, I.A. Kuznecov, O.V. Zlobin

FSBI «Russian Order of the Red Banner of Labor Research Institute of Traumatology and Orthopedics RR Vreden» Ministry of Health of the Russian Federation

Based on the information obtained in the anatomical study, were developed the criteria for selecting the allograft, taking into account its dimensional and strength characteristics. Based on these criteria, the most suitable tendon graft for plasty was chosen, and its mechanical strength was examined on a tensile machine. Various species of tendons, sterilized in the liquid medium of Belyakov, were investigated. The strength properties of the allograft were compared with the similar characteristics of native PCL obtained at the same stage of the study. It was revealed that the optimal length and strength characteristics are the tendon of the long fibular muscle, which allows recommending it for alloplasty of the posterior cruciate ligament.

Key words: arthroscopy, allograft, PCL plasty.

В настоящее время для оперативного лечения разрывов задней крестообразной связки (ЗКС) общепризнанной является артроскопическая пластика с применением алло- или ауто трансплантатов. Существует достаточно большое количество публикаций, в которых авторы сравнивают результаты пластики ЗКС с применением различных методик фиксации трансплантата. Большинство из них приходит к заключению об отсутствии значимых различий в результатах лечения [11, 14]. В настоящее время алло- и аутопластика ЗКС с созданием костных тоннелей (bone tunnels) лидирует по частоте применения [6]. В качестве пластического материала для аутопластики ЗКС в настоящий момент в подавляющем большинстве случаев используется средняя треть собственной связки надколенника (ВТБ-трансплантат) или сухожилия «гусиной лапки» (в англоязычной литературе hamstring). В последние годы все более возрастает интерес к аллопластике ЗКС [5]. Использование донорской сухожильной ткани имеет ряд несомненных преимуществ, таких как уменьшение длительности и объема оперативного вмешательства, отсутствие болевого синдрома в донорской зоне. **В качестве пластического материала** предлагает использовать порцию ахиллова сухожилия [9, 13],

сухожилий большеберцовой и малоберцовой мышц [12]. Большинство авторов при сравнительном анализе отдаленных результатов алло- и аутопластики ЗКС, приходит к выводу об отсутствии значимых различий отдаленных результатов обеих методик [8, 15].

Однако в современных литературных источниках авторы придерживаются различного мнения относительно выбора аллотрансплантата, а обоснованных параметров, таких как длина и толщина аллосухожилия, оптимальный метод стерилизации и рекомендуемая его прочность до сих пор не выработано.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Поиск аллосухожилия с размерными и прочностными свойствами, оптимальными для его использования в качестве трансплантата при пластике задней крестообразной связки.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На этапе подготовки к исследованию производилась заготовка нативной ЗКС. Заготовка трансплантатов производилась у доноров мужского пола в возрасте от 34 до 57 лет [средний возраст составил $(46,3 \pm 6,6)$ лет].

От свежего нефиксированного трупного материала отсекалась ЗКС с блоками мышечков большеберцовой и бедренной костей (рис. 1).



Рис. 1. Заготовленная ЗКС с костными блоками мышечков бедренной и большеберцовой кости. ПКС отсечена от места крепления к бедренной кости

Таким образом, сохранялись зоны фиксации связки к костям. Далее из костных блоков при помощи кусачек Люера выкраивались костные блоки с дистальной и проксимальной зонами крепления ЗКС (рис. 2).



Рис. 2. Вид нативных ЗКС с костными блоками после обработки

Аллосухожилия длинной малоберцовой мышцы после заготовки от трупного материала проходили стерилизацию и консервацию в растворе Белякова по общепринятой методике (патент № 2235462). Методика предполагает хранение аллотрансплантата при минусовых температурах: от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аллосухожилия и нативные ЗКС размораживались при комнатной температуре непосредственной перед исследованием в течение 2 часов.

Рабочая часть разрывной машины представляет собой держатели с плоскими губками, расстояние между которыми регулируется в зависимости от размера исследуемого материала.

Из средней части аллосухожилия выкраивался фрагмент длиной 10–15 мм. Перед его фиксацией в рабочей части прибора измерялись длина и диаметр фрагмента. Оба конца аллосухожилия фиксировались при помощи плоских держателей с поверхностью из неотполированного дерева (рис. 3).



Рис. 3. Аллосухожилие длинной малоберцовой мышцы, фиксированное в держателях разрывной машины

После фиксации аллогенного материала проводился непосредственно сам эксперимент. На экран подключенного к машине компьютера выводится график зависимости «сила-удлинение» (рис. 4). Вершина графика соответствует усилию, необходимому для полного разрыва сухожилия. Крутизна начальной части графика отражает прочность сухожилия, т.е. степень его сопротивляемости нагрузке. Чем круче график, тем выше модуль прочности исследуемого материала.

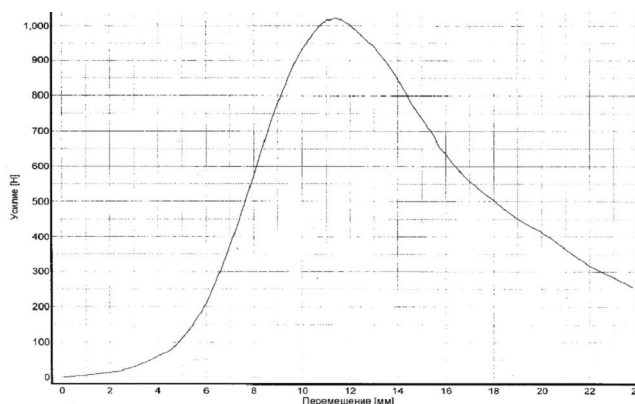


Рис. 4. График «сила-удлинение», полученный при разрыве аллосухожилия длинной малоберцовой мышцы

Для аналогичного исследования нативная ЗКС фиксировалась к держателям разрывной машины при помощи специально сконструированных металлических губок (рис. 5). Губки охватывали костные блоки, не травмируя при этом зону фиксации к ним ЗКС. Исследование прочности ЗКС проводили при той же скорости растяжения и в результате получали аналогичный график.

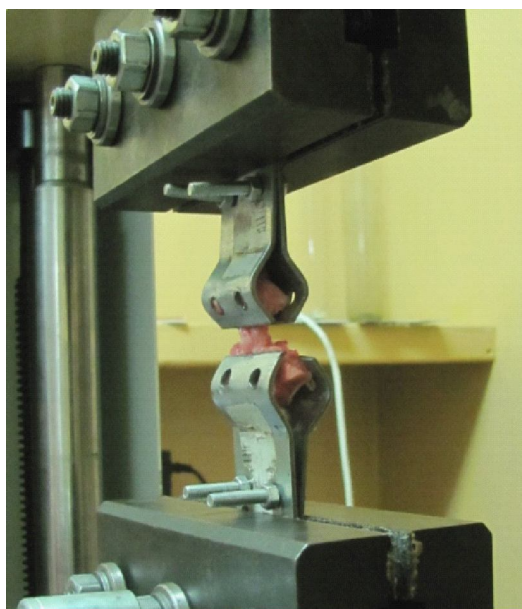


Рис. 5. Нативная ЗКС с костными блоками, фиксированная к держателям разрывной машины при помощи металлических изогнутых губок

Важно отметить, что условия, в которых проводилось исследование, в полной мере не соответствуют биомеханике повреждения ЗКС или аллотрансплантата ЗКС при травме коленного сустава, поскольку скорость повреждения в естественных условиях может быть гораздо выше. Кроме того, при травме сухожилие испытывает деформирующие силы не только на удлинение, но и на скручивание. Поэтому результаты данного эксперимента можно применять только для сравнения данных двух групп и нельзя рассматривать как физическую модель повреждения ЗКС при травмах коленного сустава.

ЗКС и аллосухожилия сравнивались по следующим параметрам: максимальная сила разрыва (F , N), прочность (N/mm^2) и относительное удлинение (e , %).

Прочность рассчитывалась по формуле:

$\sigma = F/s$, где F (N) – сила разрыва исследуемой связки или сухожилия, S – площадь исследуемого образца.

Площадь вычислялась, исходя из измеренного диаметра сухожилия, по формуле:

$$S = \frac{1}{4} \pi D^2,$$

где D диаметр исследуемого образца в мм.

Относительное удлинение рассчитывалось по формуле:

$e = l/l_0 * 100$ %, где l – начальная длина деформируемого стержня, l_0 – длина деформируемого стержня при разрыве.

Суммарные данные вносились в сводную таблицу Excel с целью их дальнейшего статистического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку в качестве варианта пластики ЗКС в исследовании нами рассматривалась только методика фиксации аллосухожилия биодеградируемыми винтами в обоих костных тоннелях (подробно методика была описана в журнале «Травматология и Ортопедия России» в 2011 и 2012 гг. [1, 2, 4]), то, исходя из сути методики, рекомендуемая минимальная длина аллосухожилия была рассчитана нами по формуле:

(длина тибиаляного тоннеля + длина феморального тоннеля + длина нативной ЗКС + 10 мм) \times 2 = (66,0 + 39,5 + 34,0 + 10) \times 2 = 299 (мм). Длины костных тоннелей получены в результате топографо-анатомического эксперимента [4].

Это означает, что для адекватного замещения утраченной ЗКС необходим аллотрансплантат длиной не менее 150 мм, а диаметр его в виде сложенного вдвое сухожилия должен быть не менее 8–9 мм.

В качестве возможных вариантов для замещения ЗКС нами рассматривались следующие варианты аллосухожилий (табл. 1): сухожилие задней большеберцовой мышцы (*musculus tibialis posterior*), сухожилие длинной малоберцовой мышцы (*musculus peroneus longus*), двойное сухожилие.

Таблица 1

Размерные величины различных видов аллогенных сухожилий

№	Сухожилие длинной малоберцовой мышцы			Сухожилие задней большеберцовой мышцы			Двойное сухожилие					
	L1	L2	D	L1	L2	D	L1		L2		D	
							1	2	1	2	1	2
Me	39	36	4	29	27	4	32	41	30	38	3	3
ДИ 95 %	35; 41	33; 38		26; 29	24; 27		27; 34	34; 41	26; 33	33; 38		

Примечание. L1 – длина до обработки; L2 – длина после обработки; D – диаметр сухожилия.

Длина сухожилия задней большеберцовой мышцы варьировала от 24 до 31 см, в среднем 29 (26; 29) см. После обработки и отсека костных включений она составила 27 (24; 27) см. Такие параметры не удовлетворяют заявленным нами требованиям. Двойное сухожилие для создания достаточной толщины трансплантата должно быть сложено вчетверо. При этом его диаметр составляет 8–9 мм, а длина 52/36 – 34/20 см, что удовлетворяет требованиям в 58,8 % случаев в рассмотренной нами выборке. Использование четырехпучкового трансплантата при пластике возможно, однако менее удобно и создает предпосылки к неравномерному натяжению пучков в процессе фиксации. Длина сухожилия длинной малоберцовой мышцы составляет от 33 до 44 см, а диаметр в сдвоенном виде – 8–9 мм. В среднем длина его составила 39 (35; 41) см, а после обработки – 36 (33; 48) см. Таким образом, исходя из вышеуказанных условий и результатов предыдущего этапа исследования, в качестве оптимального трансплантата нами было выбрано сухожилие длинной малоберцовой мышцы.

Прочностные свойства именно этого сухожилия были исследованы на разрывной машине и сравнены с аналогичными свойствами нативной ЗКС.

В результате проведенного исследования были получены следующие данные (табл. 2). Сила разрыва F для ЗКС составила (673,6 ± 76,9) ньютонов. Для аллосухожилия длинной малоберцовой мышцы этот показатель был значительно выше и составил (818,5 ± 186,7) ньютонов ($p = 0,03$). Показатели прочности для ЗКС составили (19,7 ± 4,4) N/мм², а для аллотрансплантата – (52,2 ± 16,0) N/мм². Однако относительное удлинение при разрыве ЗКС составило (68,7 ± 18,7) %, что значительно превышает аналогичный показатель для аллосухожилия, который составил (47,6 ± 28,3) % ($p = 0,03$). Это говорит о меньшей пластичности аллогенного консервированного материала по сравнению с нативной тканью связки.

В последние годы все более возрастает интерес к аллопластике ЗКС [27]. Использование донорской сухожильной ткани имеет ряд несомненных преимуществ, таких как уменьшение длительности и объема оперативного вмешательства, отсутствие болевого синдрома в донорской зоне. В качестве пластического материала предлагается использовать порцию ахиллова сухожилия [9, 13], сухожилий большеберцовой и

малоберцовой мышц [7, 12]. J. L. Hudgens, проанализировав результаты алло- и аутопластики ЗКС за период с 1980 по 2011 г., пришел к выводу об отсутствии значимых различий отдаленных результатов обеих методик [8]. X. Sun в 2015 г. при сравнении использования ауто- и аллосухожилий в группе из 71 пациента также не нашел существенных различий при оценке отдаленных результатов пластики ЗКС [15].

Причиной формирования данной тенденции в хирургии является как уменьшение травматизации тканей и объема операции, так и сокращение ее длительности. Последнее преимущество в условиях современной медицины немаловажно не только с медицинской, но и с экономической точки зрения, поскольку позволяет хирургу выполнять большее количество операций. В профильных научных публикациях уделено мало внимания критериям выбора аллотрансплантата с учетом его размерных и прочностных характеристик. По нашему мнению, изучение антропометрических показателей и прочностных характеристик аллосухожилий позволяет не только разработать критерии подбора аллотрансплантата, но и выявить наиболее оптимальный пластический материал для реконструкции ЗКС.

Проведенное нами исследование дает возможность при выполнении операции исключить эмпирический подбор подходящего алломатериала для адекватного замещения утраченной ЗКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное сравнительное исследование различных вариантов сухожильных трансплантатов с учетом их размерных характеристик выявило, что наиболее подходящим для пластики ЗКС является сухожилие длинной малоберцовой мышцы. Прочностные характеристики данного варианта трансплантата были изучены на разрывной машине и сравнены с аналогичными показателями нативной ЗКС. Исходя из полученных нами данных, следует сделать заключение, что хорошие прочностные характеристики аллосухожилия длинной малоберцовой мышцы позволяют рекомендовать ее использование для аллопластики ЗКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов И.А. Способ артроскопической реконструкции задней крестообразной связки и набор инструментов для защиты подколенной артерии при его

Таблица 2

Показатели прочностных характеристик нативной ЗКС (14 наблюдений) и консервированного аллосухожилия (11 наблюдений)

Показатель	Данные донора		F, N		прочность, N/мм ²		e, %	
	возраст	пол	ЗКС	алло-сухожилие	ЗКС	алло-сухожилие	ЗКС	алло-сухожилие
Среднее значение	46,3		673,6	818,5	19,7	52,2	68,7	47,6
ДИ 95 %	37; 52		634,3; 711,4	715,8; 925,7	17,4; 21,9	43,3; 61,2	59,5; 78,3	32,4; 63,8

выполнении / И.А. Кузнецов, И.А. Воронкевич, А.В. Рыбин и др. Патент РФ, № 2557426. – заяв. 05.06.2013; опубл. 10.12.2014.

2. Кузнецов И.А., Волоховский Н.Н., Рыбин А.В. и др. Артроскопическая реконструкция задней крестообразной связки коленного сустава // Травматология и ортопедия России. – 2011. – № 2 (60). – С. 118–124.

3. Кузнецов И.А., Фомин Н.Ф., Рябинин М.В. и др. Модифицированный способ артроскопической реконструкции задней крестообразной связки коленного сустава // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2014. – № 4. – С. 22–30.

4. Кузнецов И.А., Фомин Н.Ф., Шулепов Д.А. Топографо-анатомические подходы к разработке системы защиты подколенной артерии при артроскопической пластике задней крестообразной связки // Травматология и ортопедия России. – 2012. – № (4) 66. – С. 26–32.

5. Adler G.G. All-inside posterior cruciate ligament reconstruction with a GraftLink // *Arthrosc. Tech.* – 2013. – Bd. 2, H. 2. – P. 111–115.

6. Campbell R.B. Arthroscopic tibial inlay for posterior cruciate ligament reconstruction / R.B. Campbell, S.S. Jordan, J.K. Sekiya // *Arthroscopy.* – 2007. – Vol. 23. – P. 1356–1356.

7. Fanelli G.C. Arthroscopic double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction surgical technique / G.C. Fanelli, J.D. Beck, C.J. Edson // *J. Knee Surg.* – 2010. – Vol. 23, № 2. – P. 89–94.

8. Hudgens J.L. Allograft versus autograft in posterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based systematic review / J.L. Hudgens, B.P. Gillette, A.J. Krych et al. // *J. Knee Surg.* – 2013. – Vol. 26, № 2. – P. 109–115.

9. Kwon J.H. Tunnel volume enlargement after posterior cruciate ligament reconstruction: comparison of achilles allograft with mixed autograft/allograft – a prospective computed tomography study / J.H. Kwon, J.H. Han, D.Y. Jo et al. // *Arthroscopy.* – 2014. – Vol. 30, № 3. – P. 326–334.

10. Lin Y.C. Arthroscopic transtibial single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon graft compared with hamstring tendon graft / Y.C. Lin, S.K. Chen et al. // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2013. – Vol. 133, № 4. – P. 523–530.

11. MacGillivray J.D. Comparison of tibial inlay versus transtibial techniques for isolated posterior cruciate ligament reconstruction: minimum 2-year follow-up / J.D. MacGillivray, B.E. Stein, M. Park et al. // *Arthroscopy.* – 2006. – Vol. 22. – P. 320–328.

12. Min B.H. Evaluation of transtibial double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using a single-sling method with a tibialis anterior allograft / B.H. Min, Y.S. Lee, C.Z. Jin, K.H. Son // *Am. J. Sports Med.* – 2011. – Vol. 39, № 2. – P. 374–379.

13. Noh J.H. Multiple looping technique for tibial fixation in posterior cruciate ligament reconstruction using free tendon Achilles allograft / J.H. Noh, K.H. Yoon, H.S. Kyung et al. // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* – 2017. – Vol. 25 (8). – P. 2640–2645.

14. Seon J.K. Reconstruction of isolated posterior cruciate ligament injuries: a clinical comparison of the transtibial and tibial inlay techniques / J.K. Seon, E.K. Song // *Arthroscopy.* – 2006. – Vol. 22. – P. 27–32.

15. Sun X. Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction with allograft versus autograft / X. Sun,

J. Zhang, X. Qu, Y. Zheng // *Arch. Med. Sci.* – 2015. – Vol. 11, № 2. – P. 395–401.

REFERENCES

1. Kuznecov I.A. Sposob artroskopicheskoj rekonstrukcii zadnej krestoobraznoj svjazki i nabor instrumentov dlja zashhity podkolenoj arterii pri ego vypolnenii [The method of arthroscopic reconstruction of the posterior cruciate ligament and a set of instruments for protecting the popliteal artery during its implementation]. Patent RF, no. 2557426, заяв. 05.06.2013; opubl. 10.12.2014.

2. Kuznecov I.A., Volohovskij N.N., Rybin A.V. et al. Artroskopicheskaja rekonstrukcija zadnej krestoobraznoj svjazki kolennogo sustava [Arthroscopic reconstruction of the posterior cruciate ligament of the knee joint]. *Travmatologija i ortopedija Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia], 2011, no. 2 (60), pp. 118–124. (In Russ.; abstr. in Engl.)

3. Kuznecov I.A., Fomin N.F., Rjabinin M.V. et al. Modificirovannyj sposob artroskopicheskoj rekonstrukcii zadnej krestoobraznoj svjazki kolennogo sustava [Modified method of arthroscopic reconstruction of posterior cruciate ligament of knee joint]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [Herald of traumatology and orthopedics named after N.N. Priorov], 2014, no. 4, pp. 22–30. (In Russ.; abstr. in Engl.)

4. Kuznecov I.A., Fomin N.F., Shulepov D.A. Topografo-anatomicheskie podhody k razrabotke sistemy zashhity podkolenoj arterii pri artroskopicheskoj plastike zadnej krestoobraznoj svjazki [Topographic and anatomical approaches to the development of a popliteal artery protection system for arthroscopic plasty of the posterior cruciate ligament]. *Travmatologija i ortopedija Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia], 2012, no. (4) 66, pp. 26–32. (In Russ.; abstr. in Engl.)

5. Adler G.G. All-inside posterior cruciate ligament reconstruction with a GraftLink. *Arthrosc. Tech.*, 2013, Bd. 2, H. 2, pp. 111–115.

6. Campbell R.B. Arthroscopic tibial inlay for posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 2007, Vol. 23, pp. 1356–1356.

7. Fanelli G.C. Arthroscopic double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction surgical technique. *J. Knee Surg.*, 2010, Vol. 23, no. 2, pp. 89–94.

8. Hudgens J.L. Allograft versus autograft in posterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based systematic review. *J. Knee Surg.*, 2013, Vol. 26, no. 2, pp. 109–115.

9. Kwon J.H. Tunnel volume enlargement after posterior cruciate ligament reconstruction: comparison of achilles allograft with mixed autograft/allograft – a prospective computed tomography study. *Arthroscopy*, 2014, Vol. 30, no. 3, pp. 326–334.

10. Lin Y.C. Arthroscopic transtibial single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon graft compared with hamstring tendon graft. *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, 2013, Vol. 133, no. 4, pp. 523–530.

11. MacGillivray J.D. Comparison of tibial inlay versus transtibial techniques for isolated posterior cruciate ligament reconstruction: minimum 2-year follow-up. *Arthroscopy*, 2006, Vol. 22, pp. 320–328.

12. Min B.H. Evaluation of transtibial double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using a single-sling method with a tibialis anterior allograft. Am. J. Sports Med., 2011, Vol. 39, no. 2, pp. 374–379.

13. Noh J.H. Multiple looping technique for tibial fixation in posterior cruciate ligament reconstruction using free tendon Achilles allograft. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc., 2017, Vol. 25 (8), pp. 2640–2645.

14. Seon J.K. Reconstruction of isolated posterior cruciate ligament injuries: a clinical comparison of the transtibial and tibial inlay. Arthroscopy, 2006, Vol. 22, pp. 27–32.

15. Sun X. Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction with allograft versus autograft. Arch. Med. Sci., 2015, Vol. 11, no. 2, pp. 395–401.

Контактная информация

Шулепов Дмитрий Александрович – к. м. н., лаборант-исследователь отделения спортивной травматологии и реабилитации Российского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, shulepov@front.ru.