

ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПОДКОЛЕННОЙ АРТЕРИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АРТРОСКОПИЧЕСКОЙ ПЛАСТИКИ ЗАДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

И.А. Кузнецов¹, Н.Ф. Фомин², Д.А. Шулепов¹

¹ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, директор – д.м.н., профессор Р.М. Тихилов

² ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, врид начальника – д.м.н. профессор А.Н. Бельских Санкт-Петербург

Представлены результаты клинико-анатомического исследования, направленного на изучение взаимоотношений задней крестообразной связки, костных элементов коленного сустава и подколенного сосудисто-нервного пучка применительно к технике артроскопической пластики задней крестообразной связки. Материалом служили 12 коленных суставов (анатомических объектов), 14 магнитно-резонансных томограмм коленного сустава, 59 рентгеноангиограмм области коленного сустава. Изучена степень отклонения подколенной артерии в зависимости от угла сгибания в суставе. Кроме того, произведена оценка варибельности длины костных тоннелей при экспериментальном моделировании техники оперативного восстановления задней крестообразной связки. Показано, что в 100% случаев ствол подколенной артерии на уровне заднего межмышечного поля большеберцовой кости проходит латеральнее середины ее межмышечного расстояния (в пределах от 1 до 6 мм), на этом же уровне она подходит ближе всего к задней кортикальной пластинке. Наибольшее удаление подколенной артерии от этого костного ориентира наблюдалось при сгибании 90° в коленном суставе, наименьшая – при полном разгибании. Длина большеберцового канала находилась в диапазоне от 63 до 78 см, бедренного – от 38 до 47 мм. Предложены критерии оценки операционного риска повреждения подколенной артерии и методы профилактики ее ранения.

Ключевые слова: артроскопия, задняя крестообразная связка, повреждение подколенной артерии, костные тоннели.

TOPOGRAPHIC AND ANATOMICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF THE PROTECTION SYSTEM OF THE POPLITEAL ARTERY DURING ARTHROSCOPIC POSTERIOR CRUCIATE LIGAMENT PLASTY

I.A. Kuznetsov¹, N.F. Fomin², D.A. Shulepov¹

¹ Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics

² Kirov Military Medical Academy St.-Petersburg

The purpose of this study was to determine relationships between bone elements of the knee and popliteal artery. Type of study: anatomy and clinical. Materials and methods consist of 12 cadaveric knees, 14 MRI of the knee, 59 arteriograms of lower extremity. 6 of cadaveric knees were x-rayed in the axial and sagittal planes at each of 3 flexion angles (180°, 130° and 90°) to determine the distance between posterior cruciate ligament and popliteal artery. During the study was also measured lengths of bone tunnels for arthroscopy posterior cruciate ligament reconstruction. Was fined, that in 100% of cases popliteal artery was in lateroposition (form 1 to 6 mm). The maximal distance between posterior cruciate ligament and popliteal artery were noted at flexion 90°. The length of the tibial tunnel was in a range from 63 to 78 cm, femoral – from 38 to 47 mm. Methods aimed at reducing risk of popliteal artery injury are offered.

Key words: arthroscopy, posterior cruciate ligament, popliteal artery injury, bone tunnels.

Введение

Проблема диагностики и лечения повреждений задней крестообразной связки (ЗКС) остается актуальной как в медицинском, так и в социальном плане [11, 12]. Изолированные и сочетанные повреждения ЗКС по сравнению с передней крестообразной связкой

(ПКС) встречаются достаточно редко и составляют 3,3–6,5% всех острых травм коленного сустава [1, 3]. В настоящее время общепринятой тактикой лечения таких больных является оперативное восстановление ЗКС с использованием артроскопической техники [7, 9, 14]. При проведении артроскопической

реконструкции ЗКС одной из основных проблем является близость расположения и, как следствие этого, высокий риск травмирования подколенного сосудисто-нервного пучка при формировании тоннелей для проведения трансплантата, особенно в большеберцовой кости [4–6, 8, 10, 13, 15]. За последние годы опубликованы результаты различных исследований, направленных на создание методики, позволяющей снизить возможность повреждения подколенной артерии [4, 6, 13, 15]. Однако ни одна из предложенных методик операции не может полностью исключить возможность ранения этого сосуда. Отсутствие среди различных авторов единого мнения относительно профилактики этого осложнения послужило поводом к проведению данной работы.

Цель исследования – изучение топографо-анатомических взаимоотношений подколенного сосудисто-нервного пучка с ЗКС и костными элементами задней поверхности коленного сустава с учетом различных функциональных положений нижней конечности.

Материал и методы

Программа прижизненного и посмертного анатомических исследований включала несколько разделов.

Первым этапом проводилось изучение на фиксированном трупном материале топографо-анатомических взаимоотношений подколенной артерии (ПА) с ЗКС и местами выхода костных каналов, сформированных для ее пластики (6 коленных суставов). Препаровка и выделение подколенного сосудисто-нервного пучка выполнялись на уровне щели коленного сустава с таким расчетом, чтобы взаимоотношения ПА и костных ориентиров оставались неизменными. Далее следовала препаровка ЗКС на всем ее протяжении с учетом визуализации зон ее прикрепления к большеберцовой и бедренной костям (рис. 1).

Отдельное внимание при этом уделялось сохранению заднего отдела капсулы коленного сустава, менисков и ПКС. При помощи направителя из набора для пластики ЗКС формировались тоннели в большеберцовой и бедренной костях. Тоннель в большеберцовой кости формировался согласно стандартной методике, т.е. под углом 55° к плато. Вход в него располагается несколько медиальнее переднего края большеберцовой кости, а выход – в зоне *area intercondylaris posterior* таким образом, чтобы указатель цели направителя устанавливался на 15 мм ниже верхнего полюса *tuberculum intercondilare mediale*. Тоннель в бедренной кости проходил под углом 45° к горизонтальной плоскости, начинаясь от места прикрепления ЗКС к латеральной поверхности медиального мышцелка (рис. 2).

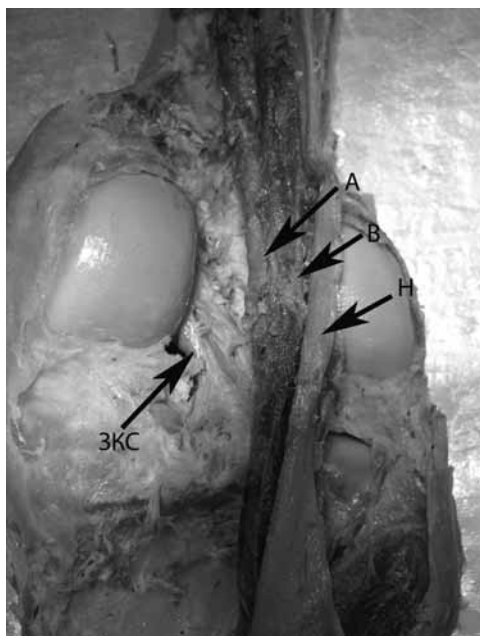


Рис. 1. Анатомический препарат правого коленного сустава, вид сзади. Задние отделы капсулы сустава частично иссечены. ЗКС – задняя крестообразная связка. Выделен подколенный сосудисто-нервный пучок. А – подколенная артерия, В – вена, Н – нерв

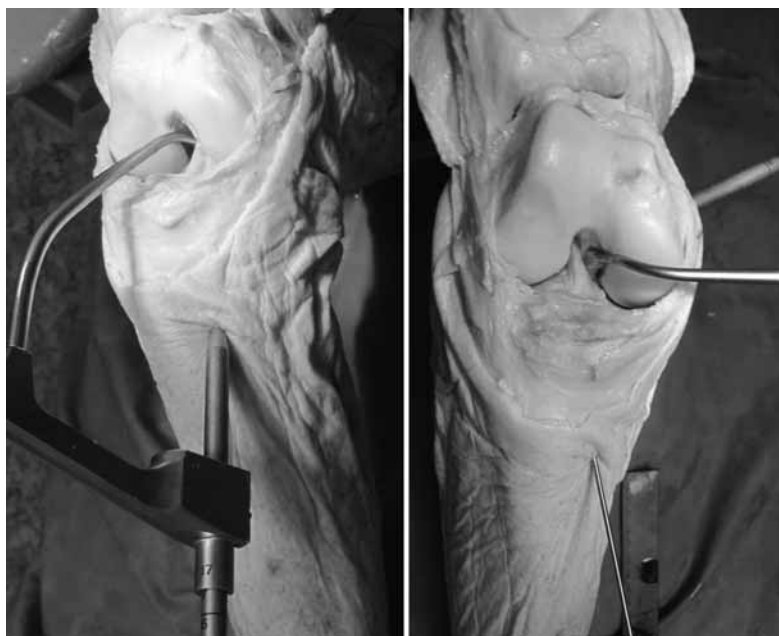


Рис. 2. Формирование костных тоннелей для пластики ЗКС

Вторым этапом проводилось изучение вариантов прижизненного строения и морфометрии ЗКС и ПА, размеров костных структур путем изучения магнитно-резонансных томограмм коленного сустава (14 МРТ). Исследования выполнялись пациентам клиники РНИИТО им. Р.Р. Вредена в возрасте от 20 до 77 лет (средний возраст пациентов 45,5 лет), обследованным в связи с патологией, не связанной с повреждением связочного аппарата коленного сустава. Для оценки направления и степени отклонения ПА в латеральную сторону изучались горизонтальные томографические срезы на трех уровнях: 1-й уровень соответствовал максимальному выстоянию кзади надмыщелков бедра (рис. 3); 2-й уровень проходил через середину прикрепления ЗКС к большеберцовой кости (рис. 4); 3-й уровень находился ниже щели коленного сустава на 25 мм (рис. 5).

Проводились следующие измерения и расчеты.

1. Измерялись максимальный поперечный размер и передне-задний размер по срединной линии бедренной и большеберцовой костей на горизонтальных срезах.

2. Измерялось расстояние от сагиттальной линии, проходящей через середину поперечника, до медиальной стенки ПА. Данный размер, характеризующий смещение ПА наружи, был обозначен нами условным термином «латерализация ПА».

3. Оценивалось расстояние от передней стенки подколенной артерии до задней кортикальной пластинки бедренной и большеберцовой костей.

4. Измерялся диаметр ПА в двух взаимоперпендикулярных плоскостях и толщина ее стенки.

При обработке МРТ использовалась компьютерная программа «eFilm Lite».



Рис. 3. Схема измерений на МРТ-срезе в пределах верхнего (1-го) уровня, соответствующего максимальному отстоянию кзади мыщелков бедренной кости

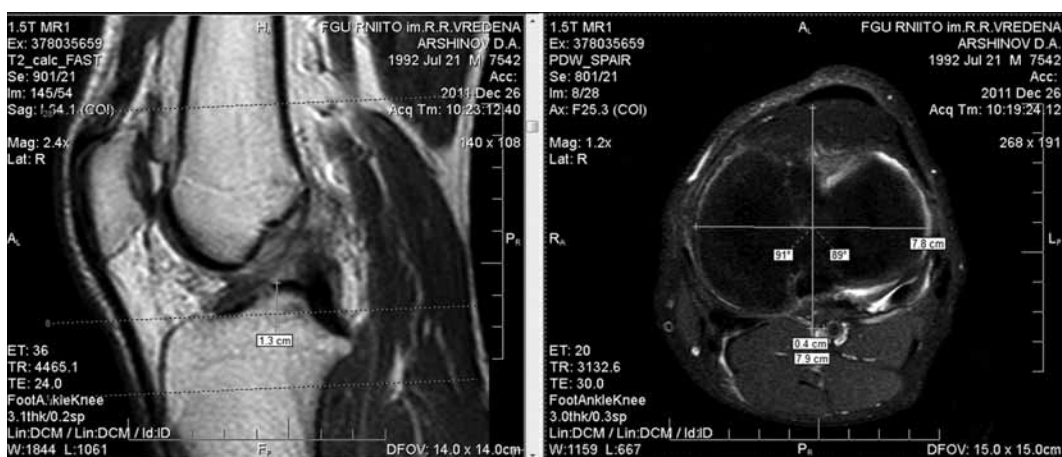


Рис. 4. Схема измерений на МРТ-срезе в пределах среднего (2-го) уровня, соответствующего горизонтальной плоскости, проведенной через середину прикрепления ЗКС к большеберцовой кости



Рис. 5. Схема измерений на МРТ-срезе в пределах нижнего (3-го) уровня, соответствующего горизонтальной плоскости, проходящей на 2,5 см ниже щели коленного сустава

Третьим этапом оценивалась вариабельность строения и уровня деления ПА путем изучения прижизненных рентгеноангиограмм (артериограмм), выполненных на уровне коленного сустава. Материалом для исследования послужили прижизненные ангиограммы нижней конечности на уровне коленного сустава, выполненные 58 больным в возрасте от 38 до 59 лет (средний возраст составил 44,7 лет) с патологией сосудистого русла дистальных отделов нижней конечности. Женщины в исследуемой группе составили 17,2%, мужчины – 82,8%.

Последним этапом производилась оценка степени и направления отклонения подколенной артерии в зависимости от угла сгибания конечности в коленном суставе (6 коленных суставов). На слабофиксированном трупном материале производился доступ к бедренной артерии на уровне паховой связки. В просвет артерии в дистальном направлении вводился рентгеноконтрастный катетер фирмы Rush (мочеточниковый катетер ERU из материала

RUSCHELIT со стилетом, размер Ch 9). Производилась рентгенография коленного сустава четырех видов: стандартные прямая и боковая при полном разгибании в коленном суставе и две боковые при степени сгибания до 130° и 90°.

Результаты и обсуждение

Исследование анатомического материала показало, что диаметр ПА варьировал от 5 до 8 мм, в среднем 6,5 мм. По данным МРТ, эта величина колебалась от 4 до 7 мм и в среднем равнялась 5,6 мм. Деление ПА на конечные ветви в большинстве случаев располагалось дистальнее щели коленного сустава на 10 мм и более. Лишь в 3,5% случаев, по данным ангиографического исследования, уровень ее разветвления находился выше.

Выяснено, что степень латерализации ПА на 2-м уровне относительно невелика и варьирует в диапазоне от 1 до 7 мм, а ее средняя величина составляет 4,15 мм (табл. 1).

Таблица 1

Взаимоотношения ЗКС и ПА с костными ориентирами на разных уровнях измерения по материалам исследования МРТ, мм

Исследуемая величина	1-й уровень			2-й уровень			3-й уровень		
	lim min	lim max	$\bar{x} \pm m$	lim min	lim max	$\bar{x} \pm m$	lim min	lim max	$\bar{x} \pm m$
Диаметр ПА	4	9	6,50±1,29	4	7	5,62±0,96	3	7	5,31±1,18
Расстояние до задней кортикальной пластинки	13	25	19,21±4,79	2	10	6,23±2,17	5	14	9,62±2,47
Латерализация ПА	-3	8	3,36±2,53	1	7	4,15±1,82	-2	7	3,00±2,39

Нами были выделены три типа смещения ПА кнаружи относительно сагиттальной оси в дистальном направлении: 1-й тип – латерализация уменьшается (35,7%), 2-й тип – латерализация меняется незначительно (35,7%), 3-й тип – латерализация увеличивается (28,6%). Таким образом, все три варианта положения ПА встречаются практически с одинаковой частотой.

В зависимости от величины латерализации ПА на уровне крепления ЗКС к большеберцовой кости (2-й уровень) предложена оценка степени риска ее травмирования при формировании костного тоннеля. Он оценивался как высокий при величине латерализации от 0 до 2 мм (14,2%), как средневысокий – при латерализации 3–5 мм (64,3%), при латерализации более 5 мм (21,4%) риск считался низким.

В парасагиттальной плоскости ближе всего к костным элементам коленного сустава ПА располагается на уровне прикрепления ЗКС к большеберцовой кости (табл. 2), что совпадает с местом выхода спицы-направителя во время формирования тиббиального костного канала при пластике этой связки.

Таблица 2

Расстояние от передней стенки ПА до задней кортикальной пластинки бедренной и большеберцовой костей на трех уровнях измерения, мм

Статистический показатель	Уровень измерения		
	1-й	2-й	3-й
lim min	13	2	5
lim max	24	10	14
$\bar{x} \pm m$	19,29±4,79	6,08±2,17	9,46±2,47



Рис. 6. Расчет размеров тиббиального костного канала и расстояния от места выхода спицы-направителя до ПА

На срезах МРТ коленного сустава измерялась длина, необходимая для формирования костных тоннелей. На сагиттальном срезе, проходящем через ПА, выстраивалась линия, соответствующая направлению и расположению костного тоннеля в большеберцовой кости. Измерялись размеры двух отрезков этой линии – один из них соответствовал длине предполагаемого костного канала, другой соответствовал расстоянию от выхода тоннеля в *area intercondylaris posterior* до пересечения с контурами ПА (рис. 6).

По аналогичной методике рассчитывалась длина бедренного костного тоннеля на фронтальном срезе (табл. 3).

Таблица 3

Протяженность костных тоннелей и величина расстояния от ПА до тоннеля в большеберцовой кости, мм

Значение	Длина тиббиального тоннеля	Расстояние до ПА по оси тиббиального тоннеля	Длина бедренного тоннеля
lim min	63	5	38
lim max	78	33	47
$\bar{x} \pm m$	70,86±4,70	13,21±4,81	41,07±3,02

Таким образом, за счет отклонения костного канала от горизонтальной плоскости на 55° расстояние от его выхода до передней стенки ПА увеличивается вдвое. Однако дальнейшее увеличение этого угла не является целесообразным, несмотря на уменьшение риска травмирования ПА, по причине резкого увеличения длины тиббиального тоннеля и, соответственно, необходимой длины трансплантата для пластики ЗКС.

Таблица 4

Расстояние от костных ориентиров до ПА на трех уровнях измерения при различной степени сгибания в коленном суставе на анатомических объектах

№ протокола	Сгибание 0°			Сгибание 130°			Сгибание 90°		
	1-й уровень	2-й уровень	3-й уровень	1-й уровень	2-й уровень	3-й уровень	1-й уровень	2-й уровень	3-й уровень
1	17	5	12	16	4	7	19	7	8
2	17	7	9	26	8	10	20	6	11
3	22	9	9	28	11	16	26	12	9
4	17	3	6	16	4	2	16	6	0
5	21	5	2	20	8	3	22	12	4
6	23	8	10	28	8	6	20	8	7

Размеры костных тоннелей, диаметр ПА и ЗКС, рассчитанные по МРТ, в целом соответствуют аналогичным размерам, полученным на препарированном трупном материале. Это позволяет считать их близкими к истинным и рекомендовать описанную выше методику обработки МРТ в качестве этапа предоперационного планирования у пациентов с повреждением ЗКС.

Одной из задач исследования явилось изучение смещения ПА в дорзальном направлении при различных положениях сгибания конечности для поиска путей снижения риска травмирования ПА. Расстояние от этой магистрали до задней кортикальной пластинки бедренной и большеберцовой костей изучалось на трех уровнях, аналогичных таковым при обработке МРТ коленного сустава. Полученные результаты были сведены в общую таблицу (табл. 4).

Анализируя и обобщая полученные результаты этого раздела, можно прийти к следующему заключению. Наиболее близко к костным элементам коленного сустава ПА подходит в зоне, соответствующей нижнему краю *area intercondylaris posterior tibiae*. При увеличении сгибания в коленном суставе происходят изгиб и некоторое удаление хода ПА от костных элементов, при этом вершина изгиба находится выше щели коленного сустава. Отклонение кзади ПА наиболее значимо при сгибании в коленном суставе 90°, а при сгибании под углом 130° выражено незначительно либо отсутствует. Ограничением для увеличения этого расстояния является, вероятнее всего, связь ПА с задней капсулой коленного сустава посредством *a. genu media* и паравазальных тканей.

Важно отметить, что расстояние от задней межмышечковой ямки до ПА по оси тибиального тоннеля при увеличении сгибания в коленном суставе возрастает достаточно значимо.

В трети случаев линии хода тоннеля и подколенной артерии не пересекались в положении флексии под прямым углом (рис. 7), а значит и риск травмирования ПА в таких случаях сводился к минимуму (табл. 5).

Таблица 5

Расстояние от места выхода спицы-направителя до ПА при различной степени сгибания в коленном суставе, мм

№ протокола	Сгибание		
	0°	130°	90°
1	8	5	12
2	14	18	16
3	15	22	Не пересекались
4	7	7	15
5	11	15	25
6	16	16	Не пересекались



Рис. 7. Посмертная рентгенограмма правого коленного сустава в положении сгибания 90°. В подколенную артерию заведен рентгеноконтрастный катетер. Линии хода тоннеля и подколенной артерии не пересекаются

Выводы

1. Расстояние от передней стенки ПА до задней межмышечковой ямки большеберцовой кости при полном разгибании нижней конечности в коленном суставе варьирует от 2 до 10 мм, составляя в среднем 6,2 мм. Латерализация подколенной артерии на этом уровне относительно невелика (от 1 до 7 мм, при среднем ее значении 4,2 мм).

2. Близость расположения ПА к заднему отделу коленного сустава создает анатомические предпосылки высокого риска ее травмирования при проведении артроскопической пластики ЗКС и делает необходимым разработку методики защиты подколенного сосудисто-нервного пучка.

3. Расстояние от выхода тибиаляного тоннеля до ПА можно увеличить с помощью отклонения его оси от горизонтальной плоскости. При этом оптимальным является угол 55°. Удаленность ПА от выхода из тоннеля по оси канала увеличивается вдвое.

4. Сгибание в коленном суставе под углом 90° характеризуется удалением ПА от оси тибиаляного тоннеля. В трети случаев ось тоннеля при этом не пересекается с ходом ПА.

5. Исходя из полученных данных, в качестве мер профилактики повреждения ПА в ходе операции рекомендуется использование углов направления тибиаляного тоннеля 55° и флексии нижней конечности в коленном суставе 90°.

6. При предоперационном планировании для учета индивидуальных анатомических особенностей рациональным является использование программного анализа МРТ коленного сустава.

Литература

1. Котельников Г.П. Посттравматическая нестабильность коленного сустава. Самара: Самарский дом печати; 1998. 184 с.
Kotel'nikov G.P. Posttravmaticheskaya nestabil'nost' kolennogo sustava [Post-traumatic instability of the knee joint]. Samara: Samarskiy dom pechati; 1998. 184 s.
2. Шилкин В.В., Филимонов В.И. Анатомия по Пирогову (атлас анатомии человека). М.: ГГЭОТАР-Медиа; 2011. Т. 1. 600 с.
Shilkin V.V., Filimonov V.I. AnATOMiya po Pirogovu (atlas anatomii cheloveka) [Anatomy by Pirogov (Atlas of Human Anatomy)]. M.: GGEO TAR-Media; 2011. T. 1. 600 s.
3. Штробель М. Руководство по артроскопической хирургии. М.: Издательство Панфилова; 2012. Т. 1. 672 с.
Shtrobel' M. Rukovodstvo po artroskopicheskoy khirurgii [Manual of arthroscopic surgery]. M.: Izdatel'stvo Panfilova; 2012. T. 1. 672 s.
4. Ahn J.H., Wang J.H., Lee S.H., Yoo J.C., Jeon W.J. Increasing the distance between the posterior cruciate ligament and the popliteal neurovascular bundle by a limited posterior capsular release during arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric angiographic study. *Am. J. Sports Med.* 2007; 35(5):787-792.
5. Cohen S.B., Boyd L., Miller M.D. Vascular risk associated with posterior cruciate ligament reconstruction using the arthroscopic transtibial tunnel technique. *J. Knee Surg.* 2004;17(4):211-213.
6. Cosgarea A.J., Kramer D.E., Bahk M.S., Totty W.G., Matava M.J. Proximity of the popliteal artery to the PCL during simulated knee arthroscopy: implications for establishing the posterior trans-septal portal. *J. Knee Surg.* 2006;19(3):181-185.
7. Houe T., Jørgensen U. Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction: one- vs. two-tunnel technique. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2004;14(2):107-111.
8. Keser S., Savranlar A., Bayar A., Ulukent S.C., Ozer T., Tuncay I. Anatomic localization of the popliteal artery at the level of the knee joint: a magnetic resonance imaging study. *Arthroscopy.* 2006;22(6):656-659.
9. MacGillivray J.D., Stein B.E., Park M., Allen A.A., Wickiewicz T.L., Warren R.F. Comparison of tibial inlay versus transtibial techniques for isolated posterior cruciate ligament reconstruction: minimum 2-year follow-up. *Arthroscopy.* 2006;22(3):320-328.
10. Makino A., Costa-Paz M., Aponte-Tinao L., Ayerza M.A., Muscolo D.L. Popliteal artery laceration during arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005;21(11):1396.
11. McAllister D.R., Petrigliano F.A. Diagnosis and treatment of posterior cruciate ligament injuries. *Curr. Sports Med. Rep.* 2007;6(5):293-299.
12. McKeon B.P., Bono J.V., Richmond J.C. *Knee Arthroscopy.* Springer; 2009. 578 p.
13. Pace J.L., Wahl C.J. Arthroscopy of the posterior knee compartments: neurovascular anatomic relationships during arthroscopic transverse capsulotomy. *Arthroscopy.* 2010;26(5):637-642.
14. Seon J.K., Song E.K. Reconstruction of isolated posterior cruciate ligament injuries: a clinical comparison of the transtibial and tibial inlay techniques. *Arthroscopy.* 2006;22(1):27-32.
15. Yoo J.H., Chang C.B. The location of the popliteal artery in extension and 90 degree knee flexion measured on MRI. *Knee.* 2009;16(2):143-148.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кузнецов Игорь Александрович – д.м.н., профессор научный руководитель отдела спортивной травматологии и реабилитации

e-mail: smithsport@mail.ru;

Фомин Николай Федорович – д.м.н., профессор начальник кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии

e-mail: fominmed@mail.ru;

Шулепов Дмитрий Александрович – лаборант-исследователь отдела спортивной травматологии и реабилитации

e-mail: shulepov@front.ru.

Рукопись поступила 09.11.2012