

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической заднелатеральной нестабильностью коленного сустава

© М.С. Тюрюпов*, И.В. Гайворонский, А.Л. Кудяшев, И.С. Базаров

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Одной из наиболее актуальных и сложных проблем современной ортопедии является лечение пострадавших с мультилигаментарной травмой коленного сустава. Наиболее сложной является категория пациентов, у которых наряду с разрывом одной или обеих крестообразных связок имеет место повреждение связочно-сухожильного комплекса, обеспечивающего заднелатеральную стабильность коленного сустава. В состав этих структур, получивших в специализированной научной литературе название заднелатеральный угол коленного сустава, принято включать малоберцовую коллатеральную связку, сухожилие подколенной мышцы и малоберцово-подколенную связку. Объективные трудности в реконструкции этих элементов объясняются сложностью их анатомии и биомеханики, полиморфизмом повреждений, близостью общего малоберцового нерва, а также недостатками имеющихся способов пластики и отсутствием общепринятой хирургической тактики. Отсутствие прикладных прецизионных сведений о строении малоберцовой коллатеральной связки и рассматриваемом связочно-сухожильном комплексе, которые позволили бы обосновать рациональную хирургическую тактику лечения пациентов с варусной нестабильностью коленного сустава, а также большое количество неудовлетворительных результатов их хирургического лечения, обусловили актуальность тематики выбранной работы (2 рис., библи.: 17 ист.).

Ключевые слова: заднелатеральный угол коленного сустава; малоберцовая коллатеральная связка; мультилигаментарная травма коленного сустава; топографо-анатомические исследования.

Как цитировать:

Тюрюпов М.С., Гайворонский И.В., Кудяшев А.Л., Базаров И.С. Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической заднелатеральной нестабильностью коленного сустава // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint

© Mark S. Tyuryupov*, Ivan V. Gaivoronsky, Aleksey L. Kudyashev, Ivan S. Bazarov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

One of the most pressing and complex problems of modern orthopedics is the treatment of patients with multiligamentary knee injury. The most difficult category of patients is considered, in whom, along with rupture of one or both cruciate ligaments, damage to the ligamentous-tendon complex, which provides posterolateral stability of the knee joint, occurs. These structures, which have received the name posterolateral angle of the knee joint in the specialized scientific literature, usually include the peroneal collateral ligament, the hamstring of the popliteal muscle and the peroneal-popliteal ligament. Objective difficulties in the reconstruction of these elements are explained by the complexity of the anatomy and biomechanics of these anatomical structures, the polymorphism of their injuries, the proximity of the common peroneal nerve, as well as the shortcomings of the available plastic methods and the lack of generally accepted surgical tactics. Lack of applied precision data on the structure of the peroneal collateral ligament and the ligamentous-tendinous complex, called the postero-lateral angle of the knee joint in the specialized literature, analyzed from the standpoint of substantiating rational surgical tactics for treating patients with varus instability in combination with a large number of unsatisfactory results of their surgical treatment, determined the relevance of the topic of the chosen work (2 figures, bibliography: 17 refs).

Keywords: multiligamentary injury of the knee joint; peroneal collateral ligament; postero-lateral angle of the knee joint; topographic anatomical studies.

To cite this article:

Tyuryupov MS, Gaivoronsky IV, Kudyashev AL, Bazarov IS. Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):71–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Основными структурами заднелатерального угла (ЗЛУ) коленного сустава, обеспечивающими его варусную стабильность, являются малоберцовая коллатеральная связка (МБКС), сухожилие подколенной мышцы (СПкМ) и подколенно-малоберцовая связка (ПкМС) [1]. Считается, что МБКС является основным стабилизатором наружного раскрытия сустава [2, 3]. В исследовании S. Nielsen сообщалось об умеренной передне-латеральной нестабильности согнутого коленного сустава при пересечении МБКС и тотальной варусной нестабильности при разогнутом коленном суставе [4]. Также S. Nielsen и R. LaPrade в своих работах указывали о взаимном дополнении МБКС и СПкМ в препятствии внешней ротации, особенно при разогнутом коленном суставе [4, 5]. СПкМ в сочетании с другими структурами ЗЛУ играет важную роль в обеспечении заднелатеральной стабильности [2, 3, 6–8]. После секционирования СПкМ наблюдалось дополнительное увеличение наружной ротации, увеличение варусного отклонения и передней трансляции [7]. ПкМС отходит от мышечной части подколенной мышцы и состоит из меньшего переднего и большего заднего пучков. Передний пучок прикрепляется к медиальной поверхности шиловидного отростка малоберцовой кости, а задний пучок — к заднемедиальной поверхности шиловидного отростка малоберцовой кости. [5]. Многие авторы подвергают сомнению важность ПкМС в обеспечении стабильности коленного сустава. Однако есть исследования, убедительно доказывающие ее важную роль в обеспечении варусной устойчивости коленного сустава и препятствии наружной ротации голени [8, 9].

Современные подходы к реконструкции связок коленного сустава при его мультилигаментарной травме, сопровождающейся повреждением структур ЗЛУ, предполагают анатомичное восстановление всех его поврежденных элементов [2, 10–14]. При лечении повреждений коленного сустава используется большой арсенал современных методик [15–17]. В настоящее время наиболее популярна методика анатомической двухпучковой реконструкции МБКС, СПкМ и ПкМС, предложенная в 2004 г. R. LaPrade [3]. Однако на практике при хирургическом лечении пострадавших с травмами рассматриваемого типа зачастую ограничиваются лишь пластикой МБКС [3, 11, 13]. Так, по данным клиники Mayo, в 2004–2014 гг. при лечении пациентов с мультисвязочными повреждениями коленного сустава, сопровождающимися тотальными разрывами структур его ЗЛУ, реконструкцию всех поврежденных анатомических образований выполнили лишь в 17,1 % случаев, а у 75,5 % пострадавших

ограничились только пластикой МБКС [2]. Причиной выбора такой хирургической тактики являются технические сложности выполнения реконструкции всех поврежденных структур, обусловленные в том числе и особенностями их анатомического строения.

Цель — на основании изученных особенностей анатомического строения основных наружных стабилизаторов коленного сустава (МБКС, СПкМ и ПкМС) разработать способ их реконструкции и оценить его клиническую эффективность. Провести оценку результатов лечения пациентов с повреждением задненаружного связочно-сухожильного комплекса коленного сустава, прооперированных с применением двух различных методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу выполняли в 2 этапа. В ходе первого этапа (анатомического) изучили варианты строения, определили места прикрепления основных структур ЗЛУ, оценили роль исследуемых структур в обеспечении варусной стабильности коленного сустава. Исследовали безопасность, техническую возможность и эффективность предложенного метода хирургического восстановления ЗЛУ коленного сустава. В ходе клинического этапа исследования провели сравнительный анализ результатов лечения пациентов с мультилигаментарной травмой коленного сустава, которым выполнили полноценную анатомическую реконструкцию всех основных структур ЗЛУ коленного сустава и пострадавших, хирургическое лечение которых ограничивалось лишь пластикой МБКС.

Анатомическое исследование выполняли на кафедре нормальной анатомии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (ВМедА) на 68 нижних конечностях трупов людей (53 нефиксированных и 15 фиксированных). Все препараты были без признаков патологических изменений суставных поверхностей дегенеративного или диспластического характера, а также без повреждений основных и вспомогательных элементов коленного сустава. Первым этапом на 54 препаратах нижних конечностей (39 свежих и 15 фиксированных) исследовали анатомические характеристики МБКС, СПкМ и ПкМС коленного сустава.

На фиксированных и нефиксированных конечностях путем прецизионного препарирования определяли и протоколировали области прикрепления изучаемых структур к наружному мыщелку бедренной кости, к головке малоберцовой кости и к наружному мыщелку большеберцовой кости.

Второй этап топографо-анатомического исследования на 14 нижних конечностях 7 нефиксированных трупов разделили на три серии исследований.

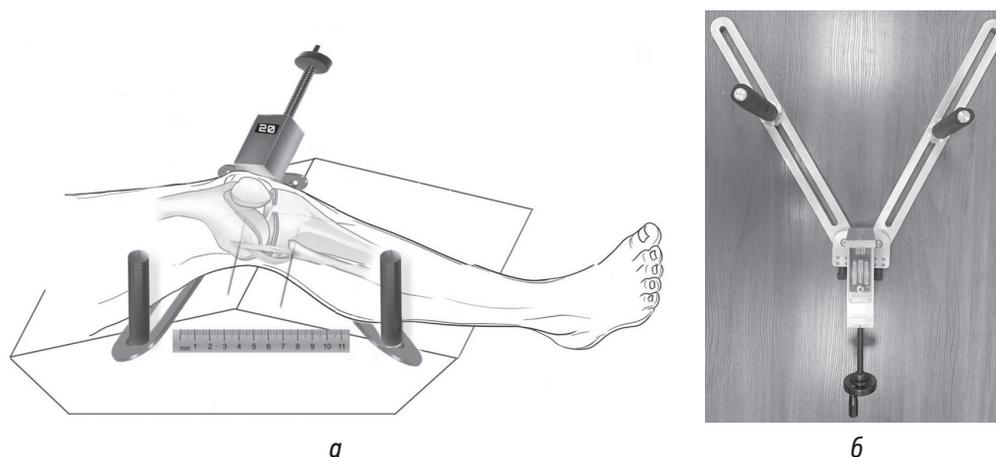


Рис. 1. Схема эксперимента (а) и внешний вид аппарата для исследования нестабильности коленного сустава (б)

В первой серии путем последовательного пересечения задней крестообразной связки, МбКС, СПкМ и ПкМС моделировали варусную нестабильность коленного сустава, используя для ее подтверждения оригинальное устройство (патент РФ на полезную модель № 197909 от 10.01.2020 г.) (рис. 1, а, б).

Во второй серии исследования на этих же конечностях выполняли анатомическую реконструкцию основных стабилизирующих структур ЗЛУ коленного сустава по разработанной в клинике военной травматологии и ортопедии методике (патент РФ на изобретение № 2735997 от 25.03.2020 г.). После окончания экспериментальной операции при помощи устройства для диагностики нестабильности коленного сустава выполняли функциональную рентгенографию, которая позволяла убедиться в достижении стабильности.

В третьей серии исследования измеряли кратчайшие расстояния от реконструированных МбКС и СПкМ до перечисленных анатомических образований в положении сгибания в коленном суставе до 90° (положение конечности на операционном столе).

Результаты топографо-анатомической части исследования вносили в разработанный протокол, а основные разделы — фотографировали

Устранение варусной нестабильности коленного сустава было подтверждено во всех восьми анатомических экспериментах путем выполнения функционального рентгенологического исследования, проводимого по разработанной методике.

В клиническую часть исследования включили 58 пациентов, находящихся на лечении в клинике военной травматологии и ортопедии ВМедА в период с 2007 по 2019 г., с повреждением ЗЛУ коленного сустава в сочетании с повреждением передней, задней или обеих крестообразных связок.

Критериями включения были повреждение структур ЗЛУ коленного сустава в сочетании с повреждением одной или обеих крестообразных связок, наличие варусной нестабильности коленного сустава II–III степени.

Критериями исключения являлись сопутствующие выраженные явления остеоартроза коленного сустава, наличие сочетанной травмы.

Из исследования было исключено 7 пострадавших: у 4 — не удалось отследить отдаленный результат, у одного пациента диагностировано наличие внутрисуставного перелома большеберцовой кости, у двоих пациентов интраоперационно диагностирована выраженная травматическая хондромалиция суставного хряща.

Возраст пациентов варьировал от 19 до 57 лет (в среднем $32,1 \pm 9,2$ года), все пострадавшие были мужчинами. 4 пациента из 51 (8 %) поступили в клинику военной травматологии и ортопедии с невправленным вывихом голени, потребовавшим неотложного оперативного пособия — закрытого ручного вправления вывиха с последующей иммобилизацией коленного сустава; у 20 пострадавших (39 %), поступивших в клинику по неотложным показаниям, имелся самостоятельно устраненный вывих голени; оставшиеся 27 пациентов (53 %) обращались в клинику для оперативного лечения в плановом порядке с застарелой травмой связок коленного сустава (давность травмы от 1 мес. до 3 лет, в среднем $14 \pm 8,2$ мес.).

У большинства больных травма была высокоэнергетической: 23 пациента (44 %) травму получили при боевой подготовке, 17 (34 %) — при физической подготовке, 4 (8 %) — в быту, 1 пострадавший получил травму в результате подрыва в бронетехнике. У 6 пациентов (12 %) повреждение было низкоэнергетическим — травма получена при подворачивании нижней конечности. У этих пострадавших индекс массы тела превышал 32 кг/м^2 .

В зависимости от избранного способа пластики МбКС пациенты были распределены на две группы. В основную группу включено 24 пострадавших (47 %). Им выполнена пластика основных структур ЗЛУ (МбКС, СПкМ и ПкМС) по разработанной в клинике военной травматологии и ортопедии ВМедА методике (патент РФ на изобретение № 2735997 от 25.03.2020 г.). В группу сравнения вошли 27 больных, которым была выполнена изолированная пластика МбКС.

Хирургическая техника. Предложенный способ реконструкции связочно-сухожильных структур ЗЛУ коленного сустава предусматривает применение ауто-трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы с фиксацией его на наружном надмыщелке бедренной кости, наружном мыщелке большеберцовой кости и головке малоберцовой кости.

Эту операцию дополняли пластикой передней (7 пациента), задней (3 больных), или обеих (14 пострадавших) крестообразных связок. При этом 12 пациентам (50 %) пластику этих связок выполнили симультантно с пластикой МБКС, а в 2 клинических случаях (8 %) первым этапом с реконструкцией МБКС выполнили пластику только задней крестообразной связки, а пластику передней осуществили отсрочено (от 3 до 9 мес. после первого этапа).

В группу наблюдения вошли 27 больных (53 %), которым при повреждении ЗЛУ выполнили пластику только МБКС ауто трансплантатом из центральной трети связки надколенника.

Эту операцию дополняли пластикой передней (7 больных), задней (4 пациента) или обеих крестообразных связок (16 пострадавших). У 9 больных (33 %) пластику этих связок осуществили одновременно с реконструкцией МБКС. У 7 пациентов (26 %) реконструкцию МБКС выполнили одновременно с пластикой задней крестообразной связки, а пластику передней выполняли вторым этапом (в сроки от 3 до 9 мес. после первого этапа).

У 12 пациентов из 51 (7 — в основной и 5 — в контрольной группе) диагностирована невропатия общего малоберцового нерва, при этом у троих больных неврологический дефицит купировался самостоятельно в течение 6–8 нед после травмы, а у остальных потребовал хирургического лечения.

Всем пострадавшим с повреждением ЗЛУ клиническое обследование дополняли рентгенографией

коленного сустава в стандартных проекциях, прямой рентгенографией с опорной нагрузкой, функциональной рентгенографией при сгибании под углом 150°, а также магнитно-резонансной томографией коленного сустава. Пациентам основной выборки функциональную рентгенологическую оценку вида и степени выраженности его варусной нестабильности выполняли по предложенной методике с применением разработанного на кафедре устройства (рис. 2, а–в).

По нашему опыту при функциональном тестировании разница между здоровым и пострадавшим суставами в раскрытии суставной щели ≥ 3 мм свидетельствовала о полном разрыве только МБКС, ≥ 4 мм — о разрыве МБКС и ЗЛУ, а ≥ 8 мм — о тотальном разрыве ЗЛУ и повреждении крестообразных связок.

Пациентам с сопутствующей невропатией общего малоберцового нерва выполняли электрофизиологическое исследование проведения импульса по сенсорным и моторным волокнам, а также его ультразвуковое исследование. С целью исключения тромбоза вен нижних конечностей всем больным осуществляли сонографическое исследование сосудов нижних конечностей.

Контрольное обследование пострадавших проводили в сроки от 9 до 42 мес. после пластики связок коленного сустава (в среднем через 16 мес.). Пациентам этой группы проводили традиционное клиническое обследование локального статуса, тестирование по шкале Lysholm, МРТ и функциональную рентгенографию коленного сустава.

Результаты анатомического исследования. Длина МБКС варьировала в достаточно большом диапазоне — от 51 до 69 мм и составляла в среднем $62,4 \pm 3,6$ мм. Во всех случаях место прикрепления МБКС к латеральному надмыщелку бедренной кости имело овальную форму с достаточно четко ограниченными границами.

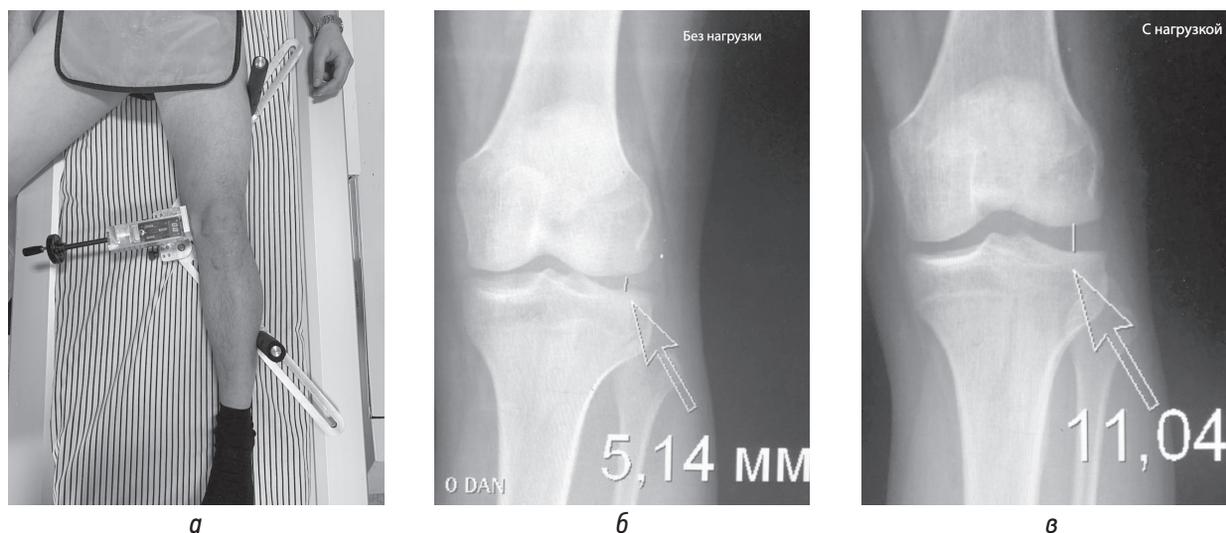


Рис. 2. Функциональная рентгенография коленного сустава с аппаратно задаваемой варусной нагрузкой: а) внешний вид конечности с устройством для функциональной рентгенографии; б) рентгенограмма коленного сустава в прямой проекции без нагрузки; в) рентгенограмма коленного сустава в прямой проекции с нагрузкой при повреждении ЗЛУ

Среднее расстояние от ее центра до нижнего края латерального мыщелка бедренной кости составило $27,8 \pm 4,1$ мм, среднее расстояние до заднего края латерального мыщелка бедренной кости — $25,4 \pm 5,7$ мм. Место прикрепления проксимальной части МБКС имело продолговатую форму, вытянутую по вертикали. Его вертикальный размер в среднем был равен $9,1 \pm 1,8$ мм, а горизонтальный — $7,2 \pm 1,8$ мм. Центр места прикрепления, как правило, располагался на $0,5-1,0$ мм кзади и проксимальнее верхушки латерального надмыщелка бедренной кости.

Центр места прикрепления СПкМ располагался на расстоянии $19,1 \pm 5,66$ мм от нижней поверхности латерального мыщелка бедренной кости и в $36,2 \pm 4,95$ мм от его задней поверхности. Место прикрепления данного сухожилия на всех изученных анатомических препаратах локализовался в среднем на $14,2 \pm 3,1$ мм кпереди и книзу от места прикрепления МБКС, что делает возможным выполнение их симультанной анатомической реконструкции.

Важнейшей в функциональном отношении особенностью СПкМ является анатомически постоянный пучок сухожильных волокон, соединяющий его с головкой малоберцовой кости, описываемый в литературных источниках как ПкМС. Центр места прикрепления ПкМС в большинстве случаев (22 препарата) располагался на верхушке головки малоберцовой кости, проксимальнее на $9,8$ мм и на $6,4$ мм кзади от ее латерального выступа и имел овальную форму: горизонтальный размер составил $8,6$ мм, а вертикальный — $8,0$ мм. На 8 анатомических препаратах место прикрепления ПкМС было смещено кпереди и дистальнее, фактически совпадало с местом прикрепления МБКС, а волокна ПкМС вплетались в волокна дистальной части МБКС. Среднее расстояние от общего малоберцового нерва до реконструированной МБКС составило $46,3 \pm 4,3$ мм; от подколенной артерии до реконструированной МБКС — $57,6 \pm 4,2$; от общего малоберцового нерва до реконструированного ПкМС — $13,1 \pm 3,1$; от подколенной артерии до реконструированного ПкМС — $24 \pm 5,6$; от общего малоберцового нерва до реконструированного СПкМ — $14,8 \pm 3,1$; от подколенной артерии до реконструированного СПкМ составило $24,7 \pm 4,6$ мм.

Результаты клинического исследования. В контрольной группе значимую остаточную латеральную нестабильность II степени наблюдали у 7 пациентов, у 4 из них была выполнена ревизионная аллопластика МБКС, СПкМ и ПкМС. У всех 9 пострадавших с выявленной клинически латеральной нестабильностью провели контрольное функциональное рентгенологическое обследование по предложенной методике (патент РФ на полезную модель № 197909 от 10.01.2020 г.), которое позволило определить степень ее выраженности.

В основной группе пострадавших ограничение сгибания до угла 135° диагностировали у одного

пострадавшего. В контрольной группе ограничение сгибания наблюдали у двоих больных (140 и 130° соответственно), при этом указанные лица не имели признаков нестабильности сустава.

Среди пострадавших с посттравматической невропатией общего малоберцового нерва признаки неврологического дефицита в той или иной степени сохранились у всех 9 больных, которым выполняли нейрохирургические оперативные вмешательства. Для них были характерны отсутствие тыльной флексии, а также чувствительные нарушения.

Оценка функциональных результатов по шкале Lysholm после проведенного лечения составила 73 [65; 82] балла, размах вариации — 41 балл (минимальное значение 48, максимальное — 89 баллов). У пациентов с повреждениями KD II типа оценка по шкале Lysholm составила 78 [74; 86] баллов, что статистически значимо ($p < 0,01$) выше, чем у пациентов с повреждениями KD III типа — 68 [64; 82] баллов (колеблемость — от 56 до 88 баллов). С повреждениями KD IV типа было три пациента, у которых оценки составили 64, 72 и 73 балла.

Самая низкая оценка по шкале Lysholm отмечена среди пациентов с невосстановленной функцией общего малоберцового нерва — 62 [60; 68] балла, что статистически значимо ($p < 0,001$) отличается от пациентов с отсутствием невропатии, у которых данная оценка составила 78 [68; 86] баллов.

У пациентов, перенесших операцию в относительно ранние сроки после получения травмы (до 5 нед), оценка по шкале Lysholm составила 72 [65; 81] балла (колеблемость — от 48 до 88 баллов), а в выборке пациентов с застарелым повреждением связочного аппарата коленного сустава — 74 [68; 86] балла (колеблемость от 48 до 89 баллов), статистически значимого различия оценки в группах не выявлено ($p > 0,05$).

Сравнение достигнутых результатов в исследуемых группах с использованием шкалы Lysholm свидетельствует о преимуществах хирургических подходов, примененных у пострадавших основной группы, в которой оценка по шкале Lysholm статистически значимо ($p = 0,003$) выше и составила 82 [70; 86] балла против оценки в контрольной группе 68 [64; 76] баллов.

ВЫВОДЫ

1. Предложенный способ хирургического лечения позволяет безопасно выполнить анатомическую реконструкцию ЗЛУ коленного сустава с достижением стабильности сустава.

2. Предложенный и запатентованный способ пластики ЗЛУ является анатомически обоснованным, безопасным с точки зрения вероятного ятрогенного повреждения общего малоберцового нерва и подколенной артерии и в должной мере обеспечивает восстановление стабильности коленного сустава.

3. Применение в клинической практике одномоментной анатомической реконструкции МБКС в сочетании с пластикой СПкМ и ПкМС как одного из компонентов реконструкции связочного аппарата коленного сустава позволяет улучшить ($p = 0,003$) функциональные результаты лечения пациентов с его мультилигаментарной травмой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (протокол № 225 от 24.09.2019).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайворонский И.В. Нормальная анатомия человека. Т. 1. СПб.: СпецЛит, 2013. 568 с.
2. Gollehon D.L., Torzilli P.A., Warren R.F. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study // *J. Bone. Joint. Surg. Am.* 1987. Vol. 69, No. 2. P. 233–242.
3. Grood E.S., Noyes, F.R., Butler, D.L., Suntay, W.J. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees // *J. Bone. Joint. Surg. Am.* 1981. Vol. 63, No. 8. P. 1257–1269.
4. Nielsen S., Rasmussen O., Ovesen J., Andersen K. Rotatory instability of cadaver knees after transection of collateral ligaments and capsule // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 1984. Vol. 103, No. 3. P. 165–169. DOI: 10.1007/BF00435548
5. LaPrade R.F., Tso A., Wentorf F.A. Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads // *Am. J. Sports Med.* 2004. Vol. 32, No. 7. P. 1695–1701. DOI: 10.1177/0363546503262694
6. Ferrari D.A., Wilson D.R., Hayes W.C. The effect of release of the popliteus and quadriceps force on rotation of the knee // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2003. No. 412. P. 225–233. DOI: 10.1097/01.blo.0000071752.41516.6e
7. LaPrade R.F., Wozniczka J.K., Stellmaker M.P., Wijdicks C.A. Analysis of the static function of the popliteus tendon and evaluation of an anatomic reconstruction: the «fifth ligament» of the knee // *Am. J. Sports Med.* 2010. Vol. 38, No. 3. P. 543–549. DOI: 10.1177/0363546509349493
8. Maynard M.J., Deng X., Wickiewicz T.L., Warren R.F. The popliteofibular ligament. Rediscovery of a key element in posterolateral stability // *Am. J. Sports Med.* 1996. Vol. 24, No. 3. P. 311–316. DOI: 10.1177/036354659602400311
9. van der Wal W.A., Heesterbeek P.J.C., van Tienen T.G., et al. Anatomical reconstruction of posterolateral corner and combined injuries of the knee // *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2016. Vol. 24, No. 1. P. 221–228. DOI: 10.1007/s00167-014-3369-7
10. Хоминец В.В., Шаповалов В.М., Капилевич Б.Я., и др. Объемная рентгенологическая диагностика повреждений передней крестообразной связки коленного сустава у военнослужащих // *Военно-медицинский журнал.* 2016. Т. 337, № 2. С. 28–30.
11. Delee J.C., Riley M.B., Rockwood C.A.Jr. Acute posterolateral rotatory instability of the knee // *Am. J. Sports Med.* 1983. Vol. 11, No. 4. P. 199–207.
12. Fanelli G.C., Monahan T.J. Complications and pitfalls in posterior cruciate ligament reconstruction. In: *Knee Surgery.* Berlin, Heidelberg: Springer, 2001. P. 121–128. DOI: 10.1007/978-3-642-87202-0_12
13. Feng H., Hong L., Geng X.S., et al. Posterolateral sling reconstruction of the popliteus tendon: an all-arthroscopic technique // *Arthroscopy.* 2009. Vol. 25, No. 7. P. 800–805. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.12.019
14. Covey D.C. Injuries of the posterolateral corner of the knee // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2001. Vol. 83, No. 1. P. 106–118. DOI: 10.2106/00004623-200101000-00015
15. Крюков Е.В., Брижань Л.К., Хоминец В.В., и др. Опыт клинического применения тканеинженерных конструкций в лечении протяженных дефектов костной ткани // *Гений ортопедии.* 2019. Т. 25, № 1. С. 49–57.
16. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Чуприна А.П., и др. Эволюция концепции оказания медицинской помощи раненым и пострадавшим с повреждениями опорно-двигательного аппарата // *Военно-медицинский журнал.* 2020. Т. 341, № 2. С. 4–11.
17. Брижань Л.К., Давыдов Д.В., Буряченко Б.П., и др. Эффективность применения современных технологий в послеоперационном лечении у пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2018. Т. 13, № 2. С. 74–77.

REFERENCES

1. Gaivoronsky IV. *Normal human anatomy*. T. 1. Saint Petersburg: SpetsLit Publisher; 2013. (In Russ.)
2. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(2):233–242.
3. Good ES, Noyes FR, Butler DL, Suntay WJ. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63(8):1257–1269.
4. Nielsen S, Rasmussen O, Ovesen J, Andersen K. Rotatory instability of cadaver knees after transection of collateral ligaments and capsule. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1984;103(3):165–169. DOI: 10.1007/BF00435548
5. LaPrade RF, Tso A, Wentorf FA. Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads. *Am J Sports Med*. 2004;32(7):1695–1701. DOI: 10.1177/0363546503262694
6. Ferrari DA, Wilson DR, Hayes WC. The effect of release of the popliteus and quadriceps force on rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;412:225–233. DOI: 10.1097/01.blo.0000071752.41516.6e
7. LaPrade RF, Wozniczka JK, Stellmaker MP, Wijdicks CA. Analysis of the static function of the popliteus tendon and evaluation of an anatomic reconstruction: the “fifth ligament” of the knee. *Am J Sports Med*. 2010;38(3):543–549. DOI: 10.1177/0363546509349493
8. Maynard MJ, Deng X, Wickiewicz TL, Warren RF. The popliteofibular ligament: rediscovery of a key element in posterolateral stability. *Am J Sports Med*. 1996;24(3): 311–316. DOI: 10.1177/036354659602400311
9. van der Wal WA, Heesterbeek PJ, van Tienen TG, et al. Anatomical reconstruction of posterolateral corner and combined injuries of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(1): 221–228. DOI: 10.1007/s00167-014-3369-7
10. Khominets VV, Shapovalov VM, Kapilevich BY, et al. Objective X-ray diagnostics of injuries of the anterior cruciate ligament of the knee joint in military personnel. *Military Medical Journal*. 2016;337(2):28–30. (In Russ.)
11. Delee JC, Riley MB, Rockwood CAJr. Acute posterolateral rotatory instability of the knee. *Am J Sports Med*. 1983;11(4):199–207.
12. Fanelli GC, Monahan TJ. Complications and pitfalls in posterior cruciate ligament reconstruction. In: *Knee Surgery*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2001. P: 121–128. DOI: 10.1007/978-3-642-87202-0_12
13. Feng H, Hong L, Geng XS, et al. Posterolateral sling reconstruction of the popliteus tendon: an all-arthroscopic technique. *Arthroscopy*. 2009;25(7):800–805. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.12.019
14. Covey DC. Injuries of the posterolateral corner of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83(1):106–118. DOI: 10.2106/00004623-200101000-00015
15. Kryukov EV, Brizhan LK, Khominets VV, et al. Experience in the clinical use of tissue-engineered structures in the treatment of extended bone tissue defects. *Genius of Orthopedics*. 2019;25(1): 49–57. (In Russ.)
16. Trishkin DV, Kryukov EV, Chuprina AP, et al. Evolution of the concept of medical care to the wounded and injured with injuries of the musculoskeletal system. *Military Medical Journal*. 2020;341(2): 4–11. (In Russ.)
17. Brizhan LK, Davydov DV, Buryachenko BP, et al. The effectiveness of the use of modern technologies in postoperative treatment in patients after total knee arthroplasty. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra im. N. I. Pirogova*. 2018;13(2):74–77. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Марк Сергеевич Тюрюпов**, курсант; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8366-0594>;
eLibrary SPIN: 2886-7181; e-mail: mark.tfyuryupov@icloud.com

Иван Васильевич Гайворонский, докт. мед. наук, профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6836-5650>;
eLibrary SPIN: 1898-3355; e-mail: i.v.gaivoronsky@mail.ru

Алексей Леонидович Кудяшев, докт. мед. наук, доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-2289>;
eLibrary SPIN: 6138-0950; e-mail: a.kudyashev@gmail.com

Иван Сергеевич Базаров, старший ординатор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-493X>;
eLibrary SPIN: 4745-2901; e-mail: dok055@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Mark S. Tyuryupov**, cadet; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8366-0594>;
eLibrary SPIN: 2886-7181; e-mail: mark.tfyuryupov@icloud.com

Ivan V. Gaivoronsky, MD, DSc (Medicine), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6836-5650>;
eLibrary SPIN: 1898-3355; e-mail: i.v.gaivoronsky@mail.ru

Aleksey L. Kudyashev, MD, DSc (Medicine), Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-2289>;
eLibrary SPIN: 6138-0950; e-mail: a.kudyashev@gmail.com

Ivan S. Bazarov, Senior Resident;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-493X>;
eLibrary SPIN: 4745-2901; e-mail: dok055@yandex.ru