

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto89566>

Лечение горизонтального расслоения менисков коленного сустава обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP). Обзор литературы и анализ собственных данных

М.П. Лисицын¹, Р.Я. Атлуханов^{2*}, А.М. Заремук¹, Е.М. Лисицына³¹ Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва, Россия;² Больница Центросоюза Российской Федерации, Москва, Россия;³ Гута Клиник, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Вопрос лечения повреждений внутреннего слоя менисков коленного сустава, не выходящих на суставную поверхность, остается открытым. В отдаленной перспективе эти повреждения могут вызвать полный разрыв мениска и обуславливать необходимость оперативного лечения. Существующие методы лечения горизонтального расслоения мениска неэффективны.

Цель. Изучение влияния обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP) на регенерацию менисков.

Материалы и методы. Проведен анализ результатов лечения 15 пациентов методом инъекций PRP, эффективно стимулирующей регенеративные процессы. Оценена эффективность метода по шкалам оценки: визуальная аналоговая шкала (ВАШ), шкала Lequesne, индекс WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index), шкала Lysholm, шкала KSS (Knee Society Score).

Результаты. По результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ), проведенной через 6 мес, отмечено отсутствие прогрессирования повреждения менисков после терапии PRP.

Заключение. В исследовании получено улучшение показателей по всем оценочным шкалам. Кроме того, по данным МРТ, через 6 мес прогрессирование дегенеративного процесса в менисках отсутствовало. Представленный метод может быть первым шагом в лечении этой патологии.

Ключевые слова: мениск; гонартроз; коленный сустав; артроскопия; обогащенная тромбоцитами плазма; резекция мениска; хондромалация.

Как цитировать:

Лисицын М.П., Атлуханов Р.Я., Заремук А.М., Лисицына Е.М. Лечение горизонтального расслоения менисков коленного сустава обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP). Обзор литературы и анализ собственных данных // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28, № 3. С. 21–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto89566>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto89566>

Treatment of horizontal dissection of the knee menisci with platelet-rich plasma (PRP). Literature review and analysis of own data

Mikhail P. Lisitsyn¹, Ruslan Y. Atlukhanov^{2*}, Adam M. Zaremuk¹, Ekaterina M. Lisitsyna³

¹ A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia;

² Hospital of the Tsentrsoyuz of the Russian Federation, Moscow, Russia;

³ Guta Clinic, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Treatment of damage to the inner layer of the meniscus of the knee joint that does not extend to the articular surface remains an open question. Subsequently, these injuries can cause a complete rupture of the meniscus that already requires surgical treatment. Existing methods of treatment at this stage of meniscus injury have not shown their effectiveness.

AIM: Study the effect of platelet-rich plasma (PRP) on meniscus regeneration.

MATERIALS AND METHODS: The analysis of the 15 patients treatment results with the PRP method, which effectively stimulates regenerative processes, was carried out. The effectiveness of the method was assessed using the following evaluation scales: visual analog scale (VAS), Lequesne scale, WOMAC index (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index), Lysholm scale, KSS scale (Knee Society Score) and magnetic resonance imaging (MRI).

RESULTS: According to the results of MRI performed after 6 months, there was no progression of meniscus damage after PRP therapy by all parameters.

CONCLUSION: The study showed an improvement in all rating scales. In addition, according to MRI data, after 6 months there was no progression of the degenerative process in the menisci. The presented method can be the first step in the treatment of this pathology.

Keywords: meniscus; gonarthrosis; knee joint; arthroscopy; platelet-rich plasma; meniscus resection; chondromalacia.

To cite this article:

Lisitsyn MP, Atlukhanov RY, Zaremuk AM, Lisitsyna EM. Treatment of horizontal dissection of the knee menisci with platelet-rich plasma (PRP). Literature review and analysis of own data. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(3):21–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto89566>

Received: 02.12.2021

Accepted: 14.12.2021

Published: 25.01.2022

ВВЕДЕНИЕ

Еще в начале XX века считалось, что удаление поврежденного мениска — единственно верный способ лечения. По мере наблюдений и дальнейших исследований выяснилось, что следствием такого лечения является ранее развитие остеоартроза коленного сустава. Все это дало толчок для поисков новых методов лечения при данной патологии [1, 2]. Со временем была предложена методика частичной резекции поврежденного мениска вместо тотальной менискэктомии [3]. В 80-х годах XX века сделан ряд открытий, указывающих на важность мениска в обеспечении стабилизирующей и амортизирующей функции в коленном суставе [4, 5]. В 1989 году предприняты попытки трансплантации мениска [6]. В настоящее время мы наблюдаем тенденцию к максимальному сохранению тканей мениска [7–9], несмотря на то, что ранее мениск считался рудиментарной структурой, не выполняющей полезную функцию для организма [10]. Однако возможность сохранения тканей мениска имеется не всегда. Сложные, застарелые повреждения чаще всего не дают возможность восстановить анатомическую и функциональную структуру мениска. Проблемы также создает невозможность предупреждения прогрессирования развития остеоартроза [11, 12]. Поврежденные мениски не склонны к самовосстановлению из-за особенностей кровоснабжения и структурированности строения [13–15].

Поражения мениска представляют собой наиболее частые внутрисуставные травмы колена и служат наиболее частыми причинами вмешательств, выполненных хирургами-ортопедами [16, 17]. Средняя годовая частота поражений мениска составляет 66 случаев на 100 тыс. жителей, из них 61 случай впоследствии приводит к менискэктомии [18, 19]. Мужчины более подвержены повреждениям менисков, чем женщины. Соотношение заболеваемости у мужчин и женщин составляет от 2,5:1 до 4:1, а общая заболеваемость достигает пика в возрасте 20–29 лет для обоих полов [18–23]. Поражения мениска чаще всего встречаются в правом коленном суставе [18]. Этиологические и патофизиологические факторы различны и сильно зависят от возраста пациента [17, 24]. Совокупность этих проблем создает почву для поиска новых методов лечения, которые смогли бы предупредить неизбежное развитие остеоартроза.

Слово «мениск» происходит от греческого *meniskos* и переводится как «полумесяц» [15]. Мениски приобретают свою форму на 8–10-й неделе гестации, формируясь из мезенхимальной ткани, окружающей сустав [25, 26]. Мениски плода имеют ячеистую структуру и выраженный сосудистый рисунок по всей поверхности [27]. По мере развития плода происходит постепенное увеличение коллагеновых волокон в структуре менисков, сопровождаемое уменьшением количества клеточных структур [27, 28]. На этом этапе развития плода движения суставов формируют основную ориентацию коллагеновых волокон

в структуре менисков. К 9–10 годам жизни лишь 10–30% поверхности мениска имеют в своей структуре сосудистую сеть, а в более зрелом возрасте только 10–25% поверхности мениска на периферии имеют сосуды и нервные окончания [27]. В зрелом мениске взрослого человека выделяют 3 зоны: красную (внутреннюю), богатую сосудистой сетью; белую (периферическую), обедненную сосудами; промежуточную. Очень важно, что регенерирующая способность напрямую связана с кровообращением в данной области, при этом белая область остается восприимчивой к постоянному посттравматическому и дегенеративному поражению [29]. Площадь медиального мениска в этот период составляет 51–74%, латерального — 75–93% от площади соответствующего плато большеберцовой кости [27].

Мениски коленного сустава — парные образования; как следует из названия, они имеют полулунную форму (рис. 1), расположены между плато большеберцовой кости и мыщелками бедренной кости. По структуре мениски представляют собой фиброзный хрящ. Форма менисков идеально вписывается между вогнутой поверхностью мыщелков бедренной кости и между большеберцовым плато, имеющим более плоскую поверхность [30]. Медиальный и латеральный мениски имеют разные размеры: латеральные мениски — 32,4–35,7 мм в длину и 26,6–29,3 мм в ширину, в то время как медиальные мениски — 40,5–45,5 и 27 мм соответственно [31, 32]. Хотя оба

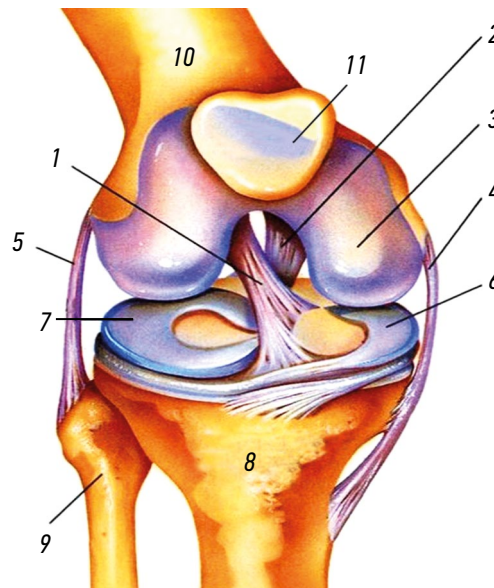


Рис. 1. Строение коленного сустава: 1 — передняя крестообразная связка; 2 — задняя крестообразная связка; 3 — суставной хрящ; 4 — внутренняя боковая связка; 5 — наружная боковая связка; 6 — медиальный мениск; 7 — латеральный мениск; 8 — большеберцовая кость; 9 — малоберцовая кость; 10 — бедренная кость; 11 — надколенник

Fig. 1. Knee joint structure: 1 — anterior cruciate ligament; 2 — posterior cruciate ligament; 3 — articular cartilage; 4 — internal lateral ligament; 5 — external lateral ligament; 6 — medial meniscus; 7 — lateral meniscus; 8 — tibia; 9 — fibula; 10 — femur; 11 — patella

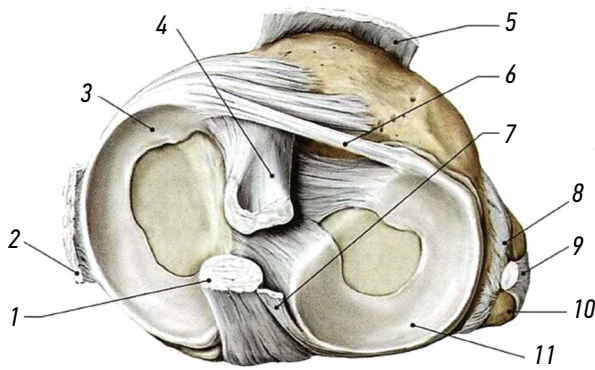


Рис. 2. Связочный аппарата менисков коленного сустава: 1 — задняя крестообразная связка; 2 — большеберцовая коллатеральная связка; 3 — медиальный мениск; 4 — передняя крестообразная связка; 5 — связка надколенника; 6 — поперечная связка колена; 7 — задняя менискобедренная связка; 8 — межберцовый сустав; 9 — малоберцовая коллатеральная связка; 10 — головка малоберцовой кости; 11 — латеральный мениск

Fig. 2. Knee meniscus ligaments: 1 — posterior cruciate ligament; 2 — tibial collateral ligament; 3 — medial meniscus; 4 — anterior cruciate ligament; 5 — patellar ligament; 6 — transverse ligament of knee; 7 — posterior meniscofemoral ligament; 8 — tibiofibular joint, superior tibiofibular joint; 9 — fibular collateral ligament; 10 — head of fibula; 11 — lateral meniscus

мениска имеют форму клина и полулуний, латеральные мениски имеют большее, чем медиальные, разнообразие размеров, форм, толщины и степени подвижности [27, 33].

Основными стабилизирующими связками менисков (рис. 2) являются медиальная коллатеральная связки, поперечная связка, мениско-бедренные связки и связки, фиксирующие на передних и задних рогах [34]. Задние рога менисков плотно крепятся к субхондральной кости большеберцового плато [35, 36]. Этот связочный аппарат

передает поперечную и растягивающую нагрузку от мягких тканей на кость и уменьшает площадь контакта между суставными поверхностями [35]. Самое частое место прикрепления переднего рога медиального мениска — межмыщелковая область большеберцового плато [37]. Задний рог медиального мениска крепится к плато большеберцовой кости перед местом крепления задней крестообразной связки [38, 39]. Тело медиального мениска плотно контактирует с капсулой сустава [40]. Передний рог латерального мениска крепится к плато большеберцовой кости перед межмыщелковым возвышением, сразу кзади и латеральнее передней крестообразной связки. Задний рог прикрепляется к большеберцовой кости между местами прикрепления передней крестообразной связки и заднего рога медиального мениска [38]. Кроме того, имеется зона контакта с подколенной мышцей [41]. Задние края менисков имеют непосредственный контакт с капсулой сустава, а их наружные поверхности остаются свободными и незакрепленными [40]. Мениско-бедренные связки, также известные как связки Хамфри и Врисберга, соединяют задний рог латерального мениска с местом крепления задней крестообразной связки на медиальном мыщелке бедренной кости. Только у 46% людей имеются обе эти связки, но хотя бы одна из них есть у 100% населения [34].

Особенности строения менисков составляют очень важную часть изучения их репаративных возможностей (рис. 3). Мениск построен из плотного внеклеточного матрикса, который состоит в основном из воды (72%) и коллагена (22%) и включения клеток [42]. Другие составляющие: глюкозаминогликаны (17%), ДНК (2%), гликопротеины адгезии (<1%) и эластин (<1%) [13, 43]. Пропорции могут изменяться в зависимости от возраста, травмы или патологического состояния [43]. Коллаген

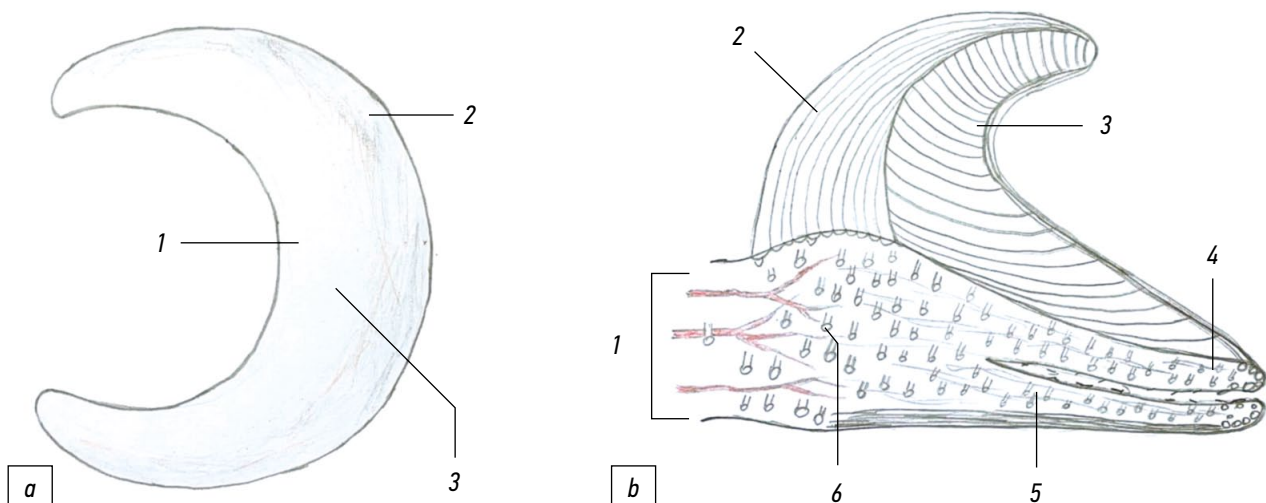


Рис. 3. Структурное строение мениска: *a* — вид мениска сверху (1 — белая зона; 2 — красная зона; 3 — пограничная (красно-белая) зона; *b* — вид мениска на поперечном срезе (1 — сосуды; 2 — параллельно ориентированные волокна; 3 — радиально ориентированные волокна; 4 — клетки поверхностного слоя; 5 — хондроцитоподобные клетки; 6 — фибробластоподобные клетки

Fig. 3. The histological structure of the meniscus: *a* — meniscus view from above (1 — white zone; 2 — red zone; 3 — border (red-white) zone; *b* — meniscus view in cross section (1 — vessels; 2 — parallel oriented fibers; 3 — radially oriented fibers; 4 — surface layer cells; 5 — chondrocyte-like cells; 6 — fibroblast-like cells

составляет около 75% от общей массы мениска и несет основную каркасную функцию [44]. В красной зоне преобладает коллаген I типа (около 80%), на долю остальных видов коллагена (II, III, IV, VI и XVIII) приходится менее 1% от общей массы. В белой зоне коллаген составляет 70% ткани по сухому весу, из которых 60% — коллаген II типа и 40% — коллаген I типа [45].

Коллагеновые волокна I типа имеют различную направленность в зависимости от зоны мениска. Ближе к красной зоне они параллельны поверхности мениска, в то время как на периферии ориентированы перпендикулярно. Параллельно ориентированные волокна и радиально направленные волокна, переплетаясь между собой в разных слоях мениска, образуют «каркас», обеспечивающий его структурную целостность [15, 29, 46–52]. Такая структура переплетения идеально подходит для переноса вертикальных и горизонтальных нагрузок [53–55].

Помимо коллагена компонентом строения мениска является эластин. Комбинация зрелых и незрелых эластиновых волокон обнаружена в очень низких концентрациях (<0,6%) во взрослом мениске. Точное биохимическое и функциональное значение эластина в мениске еще предстоит определить [30, 44, 56, 57].

Основной компонент матрикса — протеогликаны [58]. В состав этих молекул входят белок и включения гликозаминогликанов (хондроитин-6-сульфат 60%), дерматансульфат (20–30%), хондроитин-4-сульфат (10–20%) и кератинсульфат (15%) [43]. Агрекан является основным крупным протеогликаном мениска, в то время как бигликан и декорин — основными мелкими протеогликанами [59]. Их основная функция заключается в том, чтобы позволить мениску поглощать воду, которая позволяет сохранять форму при сжатии [59, 60]. Адгезионные гликопротеины также являются незаменимыми компонентами матрикса мениска, поскольку служат связующим звеном между компонентами матрикса и клетками наподобие цемента. Основные адгезионные гликопротеины, присутствующие в мениске человека, — фибронектин, тромбоспондин и коллаген VI [61, 62].

Единой классификация клеток мениска не существует [63]. В белой зоне менисков клетки имеют округлую форму и ведут себя аналогично фиброхондроцитам или хондроцитоподобным клеткам [64]. Клетки красной зоны имеют овальную или веретенообразную форму и классифицируются как фибробласты [64]. В поверхностной зоне мениска обнаружена популяция уплощенных и веретеновидных клеток, в которых отсутствуют клеточные включения. Хотя точное назначение этих клеток неизвестно, было высказано предположение, что они могли быть специфическими клетками-предшественниками с регенеративной способностью [65].

Кровоснабжение мениска достаточно скудное. Основное питание он получает из бассейна подколенной артерии. Из перименискального сплетения отходят ветви к области заднего и переднего рога менисков [66].

Полностью аваскулярной зоной можно считать периферический край латерального мениска (10–25% площади) и 10–30% периферического края медиального мениска. Эта информация важна для понимания процессов регенерации [29, 67, 68]. Сосуды из связок менисков также обеспечивают питание мениска, но углубляются в вещество мениска на небольшое расстояние [67]. Остальная часть мениска получает питание за счет синовиальной жидкости [69].

Возвратный нерв общего малоберцового нерва — основные ветви иннервации менисков. На всем пути они следуют с сосудистым пучком, и большая их часть находится во внешней трети мениска ближе к суставной капсуле [70, 71]. Значительное скопление механорецепторов определяется в задних рогах менисков. Это тельца Гольджи, Руффини и Паччини [72], которые играют важную функцию при деформации сустава, изменении давления, напряжения и отвечают за нервно-мышечное торможение соответственно [73]. В наружных $2/3$ менисков и рогах в меньшей степени можно обнаружить свободные нервные окончания — ноцицепторы, отвечающие в основном за болевую чувствительность [73–79].

Структура, морфология и биохимический состав менисков обеспечивают выполнение ряда важных функций в коленном суставе. Основные биомеханические функции: передача нагрузки [1, 48, 80–84], амортизация [50, 55, 84–86], стабильность [87–91], питание [92, 93], смазка сустава [93–96], проприоцепция [35, 73, 74, 78, 97–100]. Мениски создают конгруэнтность сустава, снижают контактное напряжение и создают большую контактную поверхность для суставных поверхностей [80, 101].

Обогащенная тромбоцитами плазма (platelet-rich plasma, PRP) обладает способностью регенерировать ткани, что доказано в нескольких экспериментальных исследованиях. Эффективны ли чрескожные инъекции PRP при внутренних поражениях менисков, без выхода на суставные поверхности, неизвестно. Цель проведенного нами исследования — изучение влияния PRP на способность влияния регенерацию менисков.

Вопросы лечения повреждения менисков без выхода на суставные поверхности (I–II степени по Stoller) менисков остаются спорными. Внутреннее поражение мениска может привести к снижению спортивной активности и дальнейшему полному разрыву мениска [19, 102], что в дальнейшем отрицательно влияет на нормальное состояние хрящевой ткани сустава [103]. Консервативные методы зачастую дают неудовлетворительный результат [104], а хирургическое лечение исключается ввиду отсутствия полного разрыва [105]. Поэтому поиск новых методов лечения находится в приоритете.

Обоснованием применения метода инъекций PRP, в данном случае, служат его физиологические особенности. Альфа-гранулы тромбоцитов содержат и высвобождают следующие многочисленные факторы роста: фактор роста гепатоцитов (HGF), фактор роста эндотелия сосудов

(VEGF), фактор роста тромбоцитов (PDGF) и трансформирующий β -фактор роста (TGF- β) основной фактор роста фибробластов (bFGF) и инсулиноподобный фактор роста 1-го типа (IGF-1) [106, 107].

Регуляция костно-пластических процессов происходит за счет костных морфогенетических белков (BMP), которые индуцируют дифференциацию костных клеток-предшественников в остеобласты [108]. Основные типы костных морфогенетических белков, участвующих в регуляции сращения переломов, описаны в исследовании J. Even и соавт. (2012): BMP2, BMP3, BMP7, BMP8a [109]. Под их действием процессы анаболизма преобладают над катаболизмом, что отражается в более высоких показателях синтеза коллагена II типа и простагландина (PG) [60, 110]. Увеличение пролиферации хондроцитов и производства матрикса также было задокументировано [111–114]. Повышенная секреция гиалуроновой кислоты оказывает влияние на синоциты [66], тем самым создается наиболее благоприятное и сбалансированное состояние для качественного ангиогенеза [116].

Инсулиноподобный фактор роста 1-го типа (IGF-1) в PRP может подавлять запрограммированную гибель клеток [117]. Более низкие уровни апоптоза обнаружены в исследованиях *in vivo*, проведенных Y. Mifune и соавт. [118]. Авторы предположили, что препараты PRP могут положительно влиять на апоптоз хондроцитов.

Снижение болевого синдрома за счет подавления воспаления является ведущим показателем действия факторов роста в случае применения PRP при остеоартрите. Основное воздействие, скорее всего, оказывают циклооксигеназа 2-го типа (ЦОГ-2) и внутренний ядерный фактор каппа В (NF- κ B), которые являются основными «действующими лицами» в каскаде воспаления [109, 119, 120]. HGF — ключевой цитокин, содержащийся в альфа-гранулах PRP, который оказывает противовоспалительное действие путем ингибирования моноцитоподобных клеток, хемотаксиса. Этот противовоспалительный эффект опосредуется за счет ингибирования сигналов NF- κ B и последующего нарушения экспрессии зависимых от NF- κ B провоспалительных медиаторов [120].

C. Wu и соавт. [121] показали, что PRP противодействует воспалительному каскаду, вызванному IL-1 β , и фактору некроза опухоли альфа (TNF- α), продемонстрировали ингибирование IL-1, ЦОГ-2. H.-R. Lee и соавт. [122] объяснили анальгезирующий эффект PRP увеличением уровня мРНК каннабиноидных рецепторов CB1 и CB2 (рецепторы, оказывающие обезболивающее и противовоспалительное действие). Другой способ влияния PRP на дегенерацию хряща — изменение аутофагии в хондроцитах. По мере старения хрящ теряет способность к самообновлению [123]. Тем не менее ученые показали увеличение покоя хондроцитов после инъекции PRP [124], которая в итоге может восстановить эту регенеративную функцию через восстановление аутофагии и обращение процесса старения [125, 126].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучены результаты лечения пациентов, которым произведено внутрименискальное чрескожное введение PRP под контролем ультразвукового исследования (УЗИ). В контрольную группу вошли 15 пациентов: 10 мужчин и 5 женщин (табл. 1).

Критерии включения в контрольную группу: возраст от 18 до 50 лет, I–II степень гонартроза по Келлгрону–Лоуренсу, наличие подтвержденного по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ), повреждения мениска II степени по Stoller, отсутствие консервативного лечения в последние 6 мес, наличие болевого синдрома больше 6 мес.

Критерии исключения из исследования: возраст моложе 18 лет и старше 50, наличие травмы в анамнезе, наличие предшествующего хирургического вмешательства на коленном суставе, генерализованный воспалительный артрит, системные заболевания, беременность, тяжелая инфекция, онкология, нарушения свертываемости крови или антикоагулянтная терапия, инъекция кортикостероидов в коленный сустав, наличие спинальной симптоматики, избыточная масса тела (индекс массы тела не больше 27,0 кг/м²).

Для получения взвеси PRP использовали пробирку Ycellbio-Kit (Ycellbio Medical Co., Ltd., Южная Корея). Преимуществами этой системы получения PRP являются простота, безопасность и высокая концентрация тромбоцитов по сравнению с аналогичными системами (около 1 млн кл/мкл). Полученный тип PRP можно отнести к типу 3a по классификации, предложенной в 2011 году A. Mishra.

Компоненты, необходимые для получения PRP (Ycellbio/закрытый цикл):

- контейнер Ycellbio (Ycellbio Medical Co., Ltd., Южная Корея);
- венозная кровь (15 мл);
- антикоагулянт — цитрат декстрозы (1,5 мл);
- шприц на 20 см³ (1 шт.);
- шприц на 5 см³ (1 шт.);
- шприц на 3 см³ (1 шт.);
- игла калибра 21G или игла-бабочка (1 шт.);
- игла калибра 18G с длиной 40 мм (2 шт.);
- марлевая салфетка, смоченная в спирте;
- пинцет;
- центрифуга Rotofix 32A (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Германия);
- противовесы для центрифуги.

Таблица 1. Распределение пациентов по возрасту и полу

Table 1. Distribution of patients by age and sex

Пол	Возраст, годы		
	от 18 до 30	от 31 до 40	от 41 до 50
Мужчины	3	5	2
Женщины	1	3	1

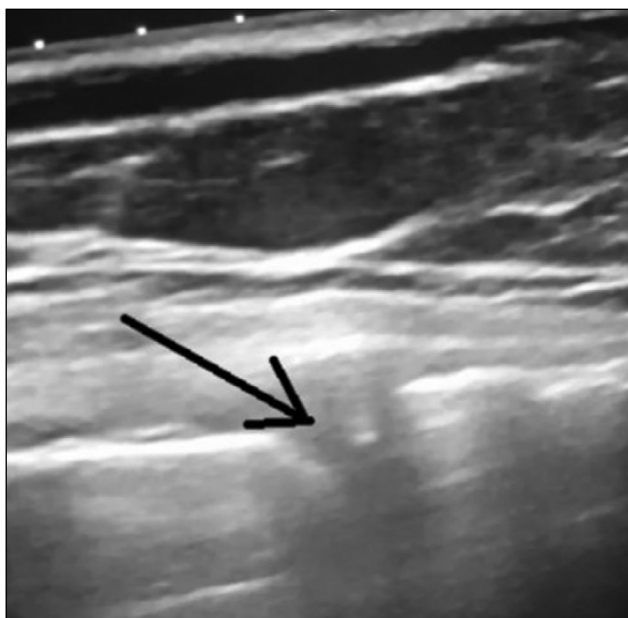


Рис. 4. Введение иглы в мениск под ультразвуковым контролем (стрелкой указана игла)

Fig. 4. The introduction of the needle into the meniscus under ultrasound control (the arrow indicates the needle)

С помощью шприца емкостью 20 см³ берут 15 мл венозной крови у пациента. Предварительно необходимо смочить внутреннюю поверхность цилиндра шприца антикоагулянтом. Для этого шприц емкостью 20 см³ наполняют 1,5 мл антикоагулянта и легко встряхивают. Затем последовательно в контейнер Ycellbio вводят антикоагулянт и набранную кровь. Контейнер устанавливают в специальный стакан, который помещают в ячейку центрифуги. Стакан с предварительно подготовленным противовесом устанавливают в ячейку, напротив. Центрифугирование проводится при скорости 3200 об/мин в течение 4 мин. После первого центрифугирования оба стакана извлекают

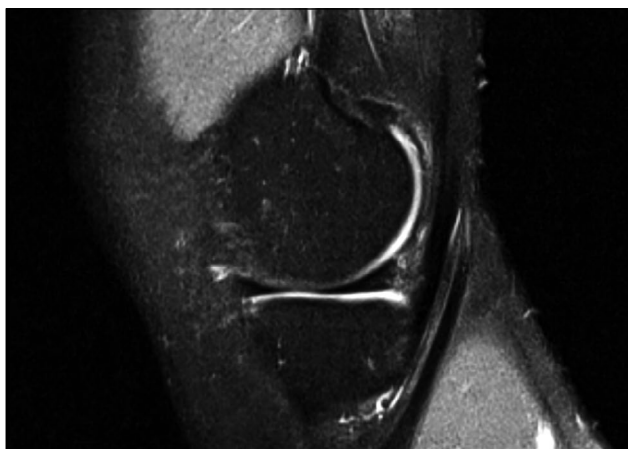


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография пациента до проведения инъекций обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP)

Fig. 5. MRI of the patient before the platelet-rich plasma (PRP) procedure

из центрифуги. В контейнере Ycellbio корректируют уровень эритроцитарной взвеси. Для этого с помощью поворотного колпачка в нижней части контейнера уровень взвеси опускают в нижний отдел контейнера, исключая тем самым отделение взвеси от слоя плазмы. Контейнер помещают в специальный стакан и затем в ячейку центрифуги. Устанавливают соответствующий противовес.

В область заднего рога под контролем УЗИ вводят взвесь тромбоцитов (около 0,5 мл). Небольшое количество (около 0,2 мл) также вводят в пограничную прекапсулярную зону сустава (рис. 4). После процедуры пациенты в течение 2 ч оставались в амбулатории.

Во время процедуры все пациенты отмечали болюющего характера, подобную зубной (5–6 баллов по визуальной аналоговой шкале боли, ВАШ), которая самостоятельно купировалась в течение 3–5 ч. Редко болевой синдром сохранялся более 12 ч (у 2 пациентов). Кроме инъекции PRP пациенты не получали никакой другой фармако- или физиотерапии.

Оценку эффективности проводили по шкалам оценки боли: ВАШ, шкала Lequesne, индекс WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index), шкала Lysholm, шкала KSS (Knee Society Score).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты лечения пациентов представлены в табл. 2 и на рис. 5, 6. По шкалам ВАШ, Lequesne, Lysholm, KSS, индексу WOMAC отмечалось улучшение всех параметров, снижение болевого синдрома, а также улучшение функциональных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы лечения повреждения внутреннего слоя менисков коленного сустава, не выходящих на суставную

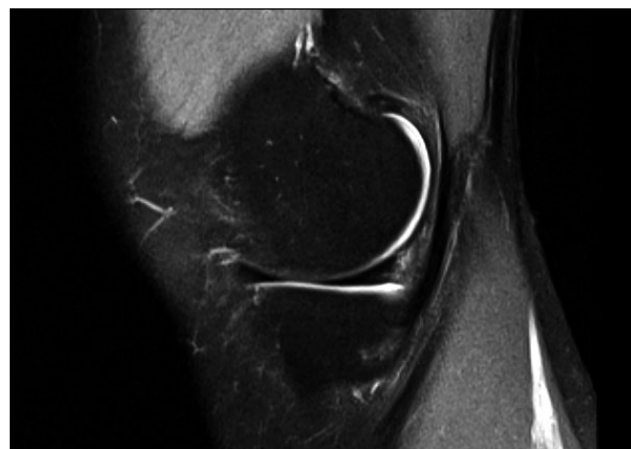


Рис. 6. Магнитно-резонансная томография пациента спустя 6 мес после проведения инъекций обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP)

Fig. 6. MRI of the patient 6 months after the platelet-rich plasma (PRP) procedure

Таблица 2. Средние показатели по контрольным шкалам: до и спустя 6 мес после терапии обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP)

Table 2. Mean scores on control scales: before and 6 months after platelet-rich plasma (PRP) therapy

Оценочная шкала, баллы	Время проведения	
	до PRP-терапии	спустя 6 мес
ВАШ	5,7	1,4
Индекс WOMAC	33,8	14,5
Шкала Lysholm	57,6	89,7
Шкала Lequesne	11,2	3,4
Шкала KSS	67,5	85,4

Примечание. ВАШ — визуальная аналоговая шкала; WOMAC — Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, KSS — Knee Society Score; PRP — platelet-rich plasma.

Note. ВАШ — Visual Analogue Scale; WOMAC — Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, KSS — Knee Society Score; PRP — platelet-rich plasma.

поверхность, остаются открытыми. В нашем исследовании получено улучшение показателей по всем оценочным шкалам. Кроме того, по данным МРТ, через 6 мес прогрессирование дегенеративного процесса в менисках отсутствовало. Мы считаем, что представленный нами метод может быть первым шагом в лечении этой патологии. На данный метод лечения авторами получен патент (RU № 2747589 от 11.05.2021).

Мы рассчитываем, что дальнейшее наблюдение за пациентами и увеличение количества исследований дадут

точный ответ на вопрос, может ли обогащенная тромбоцитами плазма оказывать регенерирующее влияние на ткань мениска, так как к этому есть все предпосылки.

Авторы надеются, что после ознакомления со статьей читатель получит целостное представление о рассматриваемой тематике, ее возможностях, а также о роли и месте обогащенной тромбоцитами плазмы в лечении повреждений мениска.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fairbank T.J. Knee joint changes after meniscectomy // *J Bone Joint Surg Br.* 1948. Vol. 30B. P. 664–670.
2. King D. The function of the semilunar cartilages // *J Bone Joint Surg.* 1936. Vol. 18B. P. 1069–1076.
3. Gillquist J., Hamberg P., Lysholm J. Endoscopic partial and total meniscectomy. A comparative study with a short term follow up // *Acta Orthop Scand.* 1982. Vol. 53, N 6. P. 975–975. doi: 10.3109/17453678208992857
4. Baratz M.E., Fu F.H., Mengato R. Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report // *Am J Sports Med.* 1986. Vol. 14, N 4. P. 270–275. doi: 10.1177/036354658601400405
5. Jaspers P., de Lange A., Huiskes R., van Rens T.J. The mechanical function of the meniscus, experiments on cadaveric pig knee-joints // *Acta Orthop Belg.* 1980. Vol. 46, N 6. P. 663–668.
6. Milachowski K.A., Weismeier K., Wirth C.J. Homologous meniscus transplantation. Experimental and clinical results // *Int Orthop.* 1989. Vol. 13, N 1. P. 1–11. doi: 10.1007/BF00266715
7. Turman K.A., Diduch D.R. Meniscal repair: indications and techniques // *J Knee Surg.* 2008. Vol. 21, N 2. P. 154–162. doi: 10.1055/s-0030-1247812
8. DeHaven K.E. Meniscus repair // *Am J Sports Med.* 1999. Vol. 27, N 2. P. 242–250. doi: 10.1177/03635465990270022301
9. Noyes F.R., Barber-Westin S.D. Repair of complex and avascular meniscal tears and meniscal transplantation // *J Bone Joint Surg Am.* 2010. Vol. 92, N 4. P. 1012–1029.
10. Sutton J.B. Ligaments: their nature and morphology. London: MK Lewis, 1897.
11. Nawabi D.H., Cro S., Hamid I.P., Williams A. Return to play after lateral meniscectomy compared with medial meniscectomy in elite professional soccer players // *Am J Sports Med.* 2014. Vol. 42, N 9. P. 2191–2198. doi: 10.1177/0363546514540271
12. Stein T., Mehling A.P., Welsch F., et al. Long-term outcome after arthroscopic meniscal repair versus arthroscopic partial meniscectomy for traumatic meniscal tears // *Am J Sports Med.* 2010. Vol. 38, N 8. P. 1542–1548. doi: 10.1177/0363546510364052
13. Makris E.A., Hadidi P., Athanasiou K.A. The knee meniscus: structure–function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration // *Biomaterials.* 2011. Vol. 32, N 30. P. 7411–7431. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.06.037
14. McDermott I.D., Amis A.A. The consequences of meniscectomy // *J Bone Joint Surg Br.* 2006. Vol. 88, N 12. P. 1549–1556. doi: 10.1302/0301-620X.88B12.18140
15. Fox A.J., Bedi A., Rodeo S.A. The basic science of human knee menisci: structure, composition, and function // *Sports Health.* 2012. Vol. 4, N 4. P. 340–351. doi: 10.1177/1941738111429419

16. Morgan C.D., Wojtys E.M., Casscells C.D., Casscells S.W. Arthroscopic meniscal repair evaluated by second-look arthroscopy // *Am J Sports Med.* 1991. Vol. 19, N 6. P. 632–637. doi: 10.1177/036354659101900614
17. Salata M.J., Gibbs A.E., Sekiya J.K. A systematic review of clinical outcomes in patients undergoing meniscectomy // *Am J Sports Med.* 2010. Vol. 38, N 9. P. 1907–1916. doi: 10.1177/0363546510370196
18. Baker B.E., Peckham A.C., Puppato F., Sanborn J.C. Review of meniscal injury and associated sports // *Am J Sports Med.* 1985. Vol. 13, N 1. P. 1–4. doi: 10.1177/036354658501300101
19. Hede A., Jensen D.B., Blyme P., Sonne-Holm S. Epidemiology of meniscal lesions in the knee. 1,215 Open operations in Copenhagen 1982–84 // *Acta Orthop Scand.* 1990. Vol. 61, N 5. P. 435–437. doi: 10.3109/17453679008993557
20. Steinbrück K. Epidemiology of sports injuries: 25-year-analysis of sports orthopedic-traumatologic ambulatory care // *Sportverletz Sportschaden.* 1999. Vol. 13, N 2. P. 38–52. (In German). doi: 10.1055/s-2007-993313
21. Drosos G.I., Pozo J.L. The causes and mechanisms of meniscal injuries in the sporting and non-sporting environment in an unselected population // *Knee.* 2004. Vol. 11, N 2. P. 143–149. doi: 10.1016/S0968-0160(03)00105-4
22. Куляба Т.А., Новоселов К.А., Корнилов Н.Н. Диагностика и лечение повреждений менисков коленного сустава // *Травматология и ортопедия России.* 2002. № 1. С. 81–87.
23. Englund M., Guermazi A., Gale D., Hunter D.J., Aliabadi P., Clancy M., Felson D.T. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons // *N Engl J Med.* 2008. N 359. P. 1108–1115.
24. Noble J., Hamblen D.L. The pathology of the degenerate meniscus lesion // *J Bone Joint Surg Br.* 1975. Vol. 57, N 2. P. 180–186.
25. Gardner E., O’Rahilly R. The early development of the knee joint in staged human embryos // *J Anat.* 1968. Vol. 102, Pt 2. P. 289–299.
26. Gray J.C. Neural and vascular anatomy of the menisci of the human knee // *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999. Vol. 29, N 1. P. 23–30. doi: 10.2519/jospt.1999.29.1.23
27. Clark C.R., Ogden J.A. Development of the menisci of the human knee joint. Morphological changes and their potential role in childhood meniscal injury // *J Bone Joint Surg Am.* 1983. Vol. 65, N 4. P. 538–547.
28. Carney S.L., Muir H. The structure and function of cartilage proteoglycans // *Physiol Rev.* 1988. Vol. 68, N 3. P. 858–910. doi: 10.1152/physrev.1988.68.3.858
29. Arnoczky S.P., Warren R.F. Microvasculature of the human meniscus // *Am J Sports Med.* 1982. Vol. 10, N 2. P. 90–95. doi: 10.1177/036354658201000205
30. Ghadially F.N., Thomas I., Yong N., Lalonde J.M. Ultrastructure of rabbit semilunar cartilages // *J Anat.* 1978. Vol. 125, Pt 3. P. 499–517.
31. McDermott I.D., Sharifi F., Bull A.M., et al. An anatomical study of meniscal allograft sizing // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004. Vol. 12, N 2. P. 130–135. doi: 10.1007/s00167-003-0366-7
32. Shaffer B., Kennedy S., Klimkiewicz J., Yao L. Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation // *Am J Sports Med.* 2000. Vol. 28, N 4. P. 524–533. doi: 10.1177/03635465000280041301
33. Greis P.E., Bardana D.D., Holmstrom M.C., Burks R.T. Meniscal injury: I. Basic science and evaluation // *J Am Acad Orthop Surg.* 2002. Vol. 10, N 3. P. 168–176. doi: 10.5435/00124635-200205000-00003
34. Kusayama T., Harner C.D., Carlin G.J., et al. Anatomical and biomechanical characteristics of human meniscofemoral ligaments // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994. Vol. 2, N 4. P. 234–237. doi: 10.1007/BF01845594
35. Messner K., Gao J. The menisci of the knee joint. Anatomical and functional characteristics, and a rationale for clinical treatment // *J Anat.* 1998. Vol. 193, Pt 2. P. 161–178. doi: 10.1046/j.1469-7580.1998.19320161.x
36. Villegas D.F., Hansen T.A., Liu D.F., Donahue T.L. A quantitative study of the microstructure and biochemistry of the medial meniscal horn attachments // *Ann Biomed Eng.* 2008. Vol. 36, N 1. P. 123–131. doi: 10.1007/s10439-007-9403-x
37. Berlet G.C., Fowler P.J. The anterior horn of the medial meniscus. An anatomic study of its insertion // *Am J Sports Med.* 1998. Vol. 26, N 4. P. 540–543. doi: 10.1177/03635465980260041201
38. McKeon B.P., Bono J.V., Richmond J.C. *Knee arthroscopy.* New York, NY: Springer Science and Business Media, 2009.
39. Palastanga N., Soames R. *Anatomy and human movement, structure and function.* Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences, 2011.
40. Rath E., Richmond J.C. The menisci: basic science and advances in treatment // *Br J Sports Med.* 2000. Vol. 34, N 4. P. 252–257. doi: 10.1136/bjism.34.4.252
41. Last R.J. The popliteus muscle and the lateral meniscus // *J Bone Joint Surg Br.* 1950. Vol. 32-B, N 1. P. 93–99. doi: 10.1302/0301-620X.32B1.93
42. Ghadially F.N., Lalonde J.M., Wedge J.H. Ultrastructure of normal and torn menisci of the human knee joint // *J Anat.* 1983. Vol. 136, Pt 4. P. 773–791.
43. Herwig J., Egnér E., Buddecke E. Chemical changes of human knee joint menisci in various stages of degeneration // *Ann Rheum Dis.* 1984. Vol. 43, N 4. P. 635–640. doi: 10.1136/ard.43.4.635
44. Sweigart M.A., Athanasiou K.A. Toward tissue engineering of the knee meniscus // *Tissue Eng.* 2001. Vol. 7, N 2. P. 111–129. doi: 10.1089/107632701300062697
45. Cheung H.S. Distribution of type I, II, III and V in the pepsin solubilized collagens in bovine menisci // *Connect Tissue Res.* 1987. Vol. 16, N 4. P. 343–356. doi: 10.3109/03008208709005619
46. Bullough P.G., Munuera L., Murphy J., Weinstein A.M. The strength of the menisci of the knee as it relates to their fine structure // *J Bone Joint Surg Br.* 1970. Vol. 52, N 3. P. 564–567.
47. Yasui K. Three dimensional architecture of human normal menisci // *J Jpn Orthop Assoc.* 1978. Vol. 52, N 1. P. 391–399.
48. Aspden R.M., Yarker Y.E., Hukins D.W. Collagen orientations in the meniscus of the knee joint // *J Anat.* 1985. Vol. 140, Pt 3. P. 371–380.
49. Beaupre A., Choukroun R., Guidouin R., et al. Knee menisci. Correlation between microstructure and biomechanics // *Clin Orthop Relat Res.* 1986. N 208. P. 72–75.
50. Fithian D.C., Kelly M.A., Mow V.C. Material properties and structure–function relationships in the menisci // *Clin Orthop Relat Res.* 1990. N 252. P. 19–31.

51. Skaggs D.L., Mow V.C. Function of the radial tie fibers in the meniscus // *Trans Orthop Res Soc.* 1990. Vol. 15. P. 248.
52. Рыбалко Д.Ю., Вагапова В.Ш., Борзилова О.Х. Особенности гистологического строения различных зон менисков коленного сустава человека на этапах постнатального онтогенеза // *Медицинский вестник Башкортостана.* 2015. Т. 10. №1. С. 99–102.
53. Petersen W., Tillmann B. Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci // *Anat Embryol (Berl).* 1998. Vol. 197, N 4. P. 317–324. doi: 10.1007/s004290050141
54. Andrews S.H., Rattner J.B., Abusara Z., et al. Tie-fibre structure and organization in the knee menisci // *J Anat.* 2014. Vol. 224, N 5. P. 531–537. doi: 10.1111/joa.12170
55. Voloshin A.S., Wosk J. Shock absorption of meniscectomized and painful knees: a comparative in vivo study // *J Biomed Eng.* 1983. Vol. 5, N 2. P. 157–161. doi: 10.1016/0141-5425(83)90036-5
56. Pauli C., Grogan S.P., Patil S., et al. Macroscopic and histopathologic analysis of human knee menisci in aging and osteoarthritis // *Osteoarthritis Cartilage.* 2011. Vol. 19, N 9. P. 1132–1141. doi: 10.1016/j.joca.2011.05.008
57. Ghosh P., Taylor T.K. The knee joint meniscus. A fibrocartilage of some distinction // *Clin Orthop Relat Res.* 1987. N 224. P. 52–63.
58. Nakano T., Dodd C.M., Scott P.G. Glycosaminoglycans and proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus // *J Orthop Res.* 1997. Vol. 15, N 2. P. 213–220. doi: 10.1002/jor.1100150209
59. Scott P.G., Nakano T., Dodd C.M. Isolation and characterization of small proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus // *Biochim Biophys Acta.* 1997. Vol. 1336, N 2. P. 254–262. doi: 10.1016/s0304-4165(97)00040-8
60. Adams M.E., Muir H. The glycosaminoglycans of canine menisci // *Biochem J.* 1981. Vol. 197, N 2. P. 385–389. doi: 10.1042/bj1970385
61. McDevitt C.A., Webber R.J. The ultrastructure and biochemistry of meniscal cartilage // *Clin Orthop Relat Res.* 1990. N 252. P. 8–18.
62. Miller R.R., McDevitt C.A. Thrombospondin in ligament, meniscus and intervertebral disc // *Biochim Biophys Acta.* 1991. Vol. 1115, N 1. P. 85–98. doi: 10.1016/0304-4165(91)90015-9
63. Nakata K., Shino K., Hamada M., et al. Human meniscus cell: characterization of the primary culture and use for tissue engineering // *Clin Orthop Relat Res.* 2001. Vol. 391 Suppl. P. S208–S218.
64. Verdonk P.C., Forsyth R.G., Wang J., et al. Characterisation of human knee meniscus cell phenotype // *Osteoarthritis Cartilage.* 2005. Vol. 13, N 7. P. 548–560. doi: 10.1016/j.joca.2005.01.010
65. Van der Bracht H., Verdonk R., Verbruggen G., et al. Cell based meniscus tissue engineering. In: Ashammakhi N., Reis R.L., Chielini E., editors. *Topics in tissue engineering.* Finland: Oulu University, 2007.
66. Day B., Mackenzie W.G., Shim S.S., Leung G. The vascular and nerve supply of the human meniscus // *Arthroscopy.* 1985. Vol. 1, N 1. P. 58–62. doi: 10.1016/s0749-8063(85)80080-3
67. Danzig L., Resnick D., Gonsalves M., Akesson W.H. Blood supply to the normal and abnormal menisci of the human knee // *Clin Orthop Relat Res.* 1983. N 172. P. 271–276.
68. Harner C.D., Janshah M.A., Kanamori A., et al. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction // *Am J Sports Med.* 2000. Vol. 28, N 2. P. 144–151. doi: 10.1177/03635465000280020201
69. Meyers E., Zhu W., Mow V. Viscoelastic properties of articular cartilage and meniscus. In: Nimmi M., editor. *Collagen: chemistry, biology and biotechnology.* Boca Raton, FL: CRC, 1988.
70. Gardner E. The innervation of the knee joint // *Anat Rec.* 1948. Vol. 101, N 1. P. 109–130. doi: 10.1002/ar.1091010111
71. Kennedy J.C., Alexander I.J., Hayes K.C. Nerve supply of the human knee and its functional importance // *Am J Sports Med.* 1982. Vol. 10, N 6. P. 329–335. doi: 10.1177/036354658201000601
72. Самсонова А.В., Комиссарова Е.Н. Биомеханика мышц: учебно-методическое пособие / под ред. А.В. Самсоновой. Санкт-Петербург, 2008.
73. Zimny M.L. Mechanoreceptors in articular tissues // *Am J Anat.* 1988. Vol. 182, N 1. P. 16–32. doi: 10.1002/aja.1001820103
74. Wilson A.S., Legg P.G., McNeur J.C. Studies on the innervation of the medial meniscus in the human knee joint // *Anat Rec.* 1969. Vol. 165, N 4. P. 485–491. doi: 10.1002/ar.1091650404
75. Вейн А.М. Болевые синдромы в неврологической практике. 3-е издание под ред. чл.-корр. РАМН А.М. Вейна. М.: МЕДпресс-информ, 2001. С. 158.
76. Gronblad M., Korkala O., Liesi P., Karaharju E. Innervation of synovial membrane and meniscus // *Acta Orthop Scand.* 1985. Vol. 56, N 6. P. 484–486. doi: 10.3109/17453678508993040
77. Zimny M.L., Albright D.J., Dabezies E. Mechanoreceptors in the human medial meniscus // *Acta Anat (Basel).* 1988. Vol. 133, N 1. P. 35–40. doi: 10.1159/000146611
78. Assimakopoulos A.P., Katonis P.G., Agapitos M.V., Exarchou E.I. The innervation of the human meniscus // *Clin Orthop Relat Res.* 1992. N 275. P. 232–236.
79. Mine T., Kimura M., Sakka A., Kawai S. Innervation of nociceptors in the menisci of the knee joint: an immunohistochemical study // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000. Vol. 120, N 3–4. P. 201–204. doi: 10.1007/s004020050044
80. Walker P.S., Erkman M.J. The role of the menisci in force transmission across the knee // *Clin Orthop Relat Res.* 1975. N 109. P. 184–192. doi: 10.1097/00003086-197506000-00027
81. Seedhom B.B. Loadbearing function of the menisci // *Physiotherapy.* 1976. Vol. 62, N 7. P. 223.
82. Seedhom B.B., Hargreaves D.J. Transmission of the load in the knee joint with special reference to the role in the menisci: part II. Experimental results, discussion and conclusion // *Engineering in Medicine.* 1979. Vol. 8, N 4. P. 220–228. doi: 10.1243/EMED_JOUR_1979_008_051_02
83. Fukubayashi T., Kurosawa H. The contact area and pressure distribution pattern of the knee. A study of normal and osteoarthrotic knee joints // *Acta Orthop Scand.* 1980. Vol. 51, N 6. P. 871–879. doi: 10.3109/17453678008990887
84. Arnoczky S.P., Adams M.E., DeHaven K.E., et al. The meniscus. In: Woo S.L., Buckwalter J., editors. *Injury and repair of musculoskeletal soft tissues.* Park Ridge, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1987.
85. Krause W.R., Pope M.H., Johnson R.J., Wilder D.G. Mechanical changes in the knee after meniscectomy // *J Bone Joint Surg Am.* 1976. Vol. 58, N 5. P. 599–604.
86. Kurosawa H., Fukubayashi T., Nakajima H. Load-bearing mode of the knee joint: physical behavior of the knee joint with or without menisci // *Clin Orthop Relat Res.* 1980. N 149. P. 283–290.

- 87.** Fukubayashi T., Torzilli P.A., Sherman M.F., Warren R.F. An in vitro biomechanical evaluation of anterior–posterior motion of the knee. Tibial displacement, rotation, and torque // *J Bone Joint Surg Am.* 1982. Vol. 64, N 2. P. 258–264.
- 88.** Levy I.M., Torzilli P.A., Warren R.F. The effect of medial meniscectomy on anterior–posterior motion of the knee // *J Bone Joint Surg Am.* 1982. Vol. 64, N 6. P. 883–888.
- 89.** Levy I.M., Torzilli P.A., Gould J.D., Warren R.F. The effect of lateral meniscectomy on motion of the knee // *J Bone Joint Surg Am.* 1989. Vol. 71, N 3. P. 401–406.
- 90.** Shoemaker S.C., Markolf K.L. The role of the meniscus in the anterior–posterior stability of the loaded anterior cruciate-deficient knee. Effects of partial versus total excision // *J Bone Joint Surg Am.* 1986. Vol. 68, N 1. P. 71–79.
- 91.** Markolf K.L., Mensch J.S., Amstutz H.C. Stiffness and laxity of the knee – the contributions of the supporting structures. A quantitative in vitro study // *J Bone Joint Surg Am.* 1976. Vol. 58, N 5. P. 583–594.
- 92.** Bird M.D., Sweet M.B. A system of canals in semilunar menisci // *Ann Rheum Dis.* 1987. Vol. 46, N 9. P. 670–673. doi: 10.1136/ard.46.9.670
- 93.** Renstrom P., Johnson R.J. Anatomy and biomechanics of the menisci // *Clin Sports Med.* 1990. Vol. 9, N 3. P. 523–538.
- 94.** MacConaill M.A. The function of intra-articular fibrocartilages, with special reference to the knee and inferior radio-ulnar joints // *J Anat.* 1932. Vol. 66, Pt 2. P. 210–227.
- 95.** MacConaill M.A. Studies in the mechanics of synovial joints // *Ir J Med Sci.* 1946. Vol. 21. P. 223–235.
- 96.** MacConaill M.A. The movements of bones and joints 3. The synovial fluid and its assistants // *J Bone Joint Surg.* 1950. Vol. 32-B, N 2. P. 244–252. doi: 10.1302/0301-620X.32B2.244
- 97.** Jerosch J., Prymka M., Castro W.H. Proprioception of knee joints with a lesion of the medial meniscus // *Acta Orthop Belg.* 1996. Vol. 62, N 1. P. 41–45.
- 98.** Saygi B., Yildirim Y., Berker N., et al. Evaluation of the neurosensory function of the medial meniscus in humans // *Arthroscopy.* 2005. Vol. 21, N 12. P. 1468–1472. doi: 10.1016/j.arthro.2005.09.006
- 99.** Akgun U., Kocaoglu B., Orhan E.K., et al. Possible reflex pathway between medial meniscus and semimembranosus muscle: an experimental study in rabbits // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008. Vol. 16, N 9. P. 809–814. doi: 10.1007/s00167-008-0542-x
- 100.** Karahan M., Kocaoglu B., Cabukoglu C., et al. Effect of partial medial meniscectomy on the proprioceptive function of the knee // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010. Vol. 130, N 3. P. 427–431. doi: 10.1007/s00402-009-1018-2
- 101.** Kettelkamp D.B., Jacobs A.W. Tibiofemoral contact area – determination and implications // *J Bone Joint Surg Am.* 1972. Vol. 54, N 2. P. 349–356.
- 102.** Marx R.E. Platelet-rich plasma: evidence to support its use // *J Oral Maxillofac Surg.* 2004. Vol. 62, N 4. P. 489–496. doi: 10.1016/j.joms.2003.12.003
- 103.** Ding C., Martel-Pelletier J., Pelletier J.P. Meniscal tear as an osteoarthritis risk factor in a largely non-osteoarthritic cohort: a cross sectional study // *J Rheumatol.* 2007. Vol. 34, N 4. P. 776–784.
- 104.** Biedert R.M. Treatment of intrasubstance meniscal lesions: a randomized prospective study of four different methods // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000. Vol. 8, N 2. P. 104–108. doi: 10.1007/s001670050195
- 105.** MacDonald P.B. Arthroscopic partial meniscectomy was not more effective than physical therapy for meniscal tear and knee osteoarthritis // *J Bone Joint Surg Am.* 2013. Vol. 95, N 22. P. 2058. doi: 10.2106/JBJS.9522.ebo745.
- 106.** Mishra A., Harmon K., Woodall J., Vieira A. Sports medicine applications of platelet rich plasma // *Curr Pharm Biotechnol.* 2012. Vol. 13, N 7. P. 1185–1195. doi: 10.2174/138920112800624283
- 107.** Marx R.E., Carlson E.R., Eichstaedt R.M. Platelet-rich plasma – growth factor enhancement for bone grafts // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998. Vol. 85, N 6. P. 638–646. doi: 10.1016/s1079-2104(98)90029-4
- 108.** Agata H., Asahina I., Yamazaki Y., et al. Effective bone engineering with periosteum-derived cells // *J Dental Res.* 2007. Vol. 86, N 1. P. 79–83. doi: 10.1177/154405910708600113
- 109.** Even J., Eskander M., Kang J. Bone morphogenetic protein in spine surgery: current and future uses // *J Am Acad Orthop Surg.* 2012. Vol. 20, N 9. P. 547–552. doi: 10.5435/JAAOS-20-09-547
- 110.** Pereira R.C., Scaranari M., Benelli R., et al. Dual effect of platelet lysate on human articular cartilage: a maintenance of chondrogenic potential and a transient proinflammatory activity followed by an inflammation resolution // *Tissue Eng Part A.* 2013. Vol. 19, N 11–12. P. 1476–1488. doi: 10.1089/ten.TEA.2012.0225
- 111.** Park S.I., Lee H.R., Kim S., et al. Time sequential modulation in expression of growth factors from platelet-rich plasma (PRP) on the chondrocyte cultures // *Mol Cell Biochem.* 2012. Vol. 361, N 1–2. P. 9–17. doi: 10.1007/s11010-011-1081-1
- 112.** Yang S.Y., Ahn S.T., Rhie J.W., et al. Platelet supernatant promotes proliferation of auricular chondrocytes and formation of chondrocyte mass // *Ann Plast Surg.* 2000. Vol. 44, N 4. P. 405–411. doi: 10.1097/0000637-200044040-00009
- 113.** Spreafico A., Chellini F., Frediani B., et al. Biochemical investigation of the effects of human platelet releasates on human articular chondrocytes // *J Cell Biochem.* 2009. Vol. 108, N 5. P. 1153–1165. doi: 10.1002/jcb.22344
- 114.** Gaissmaier C., Fritz J., Krackhardt T., et al. Effect of human platelet supernatant on proliferation and matrix synthesis of human articular chondrocytes in monolayer and three-dimensional alginate cultures // *Biomaterials.* 2005. Vol. 26, N 14. P. 1953–1960. doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.06.031
- 115.** Sundman E.A., Cole B.J., Karas V., et al. The anti-inflammatory and matrix restorative mechanisms of platelet rich plasma in osteoarthritis // *Am J Sports Med.* 2014. Vol. 42, N 1. P. 35–41. doi: 10.1177/0363546513507766
- 116.** Anitua E., Sánchez M., Nurden A.T., et al. Platelet-released growth factors enhance the secretion of hyaluronic acid and induce hepatocyte growth factor production by synovial fibroblasts from arthritic patients // *Rheumatology (Oxford).* 2007. Vol. 46, N 12. P. 1769–1772. doi: 10.1093/rheumatology/kem234
- 117.** Yin Z., Yang X., Jiang Y., et al. Platelet-rich plasma combined with agarose as a bioactive scaffold to enhance cartilage repair: an in vitro study // *J Biomater Appl.* 2014. Vol. 28, N 7. P. 1039–1050. doi: 10.1177/0885328213492573
- 118.** Mifune Y., Matsumoto T., Takayama K., et al. The effect of platelet-rich plasma on the regenerative therapy of muscle derived stem cells for articular cartilage repair // *Osteoarthritis Cartilage.* 2013. Vol. 21, N 1. P. 175–185. doi: 10.1016/j.joca.2012.09.018

- 119.** van Buul G.M., Koevoet W.L., Kops N., et al. Platelet-rich plasma releasate inhibits inflammatory processes in osteoarthritic chondrocytes // *Am J Sports Med.* 2011. Vol. 39, N 11. P. 2362–2370. doi: 10.1177/0363546511419278
- 120.** Bendinelli P., Matteucci E., Dogliotti G., et al. Molecular basis of anti-inflammatory action of platelet-rich plasma on human chondrocytes: mechanisms of NF- κ B inhibition via HGF // *J Cell Physiol.* 2010. Vol. 225, N 3. P. 757–766. doi: 10.1002/jcp.22274
- 121.** Wu C.C., Chen W.H., Zao B., et al. Regenerative potentials of platelet-rich plasma enhanced by collagen in retrieving proinflammatory cytokine-inhibited chondrogenesis // *Biomaterials.* 2011. Vol. 31, N 25. P. 5847–5854. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.05.002
- 122.** Lee H.R., Park K.M., Joung Y.K., et al. Platelet rich plasma loaded hydrogel scaffold enhances chondrogenic differentiation and maturation with up-regulation of CB1 and CB2 // *J Control Release.* 2012. Vol. 159, N 3. P. 332–337. doi: 10.1016/j.jconrel.2012.02.008
- 123.** Chakkalakal J.V., Jones K.M., Basson M.A., Brack A.S. The aged niche disrupts muscle stem cell quiescence // *Nature.* 2012. Vol. 490, N 7420. P. 355–360. doi: 10.1038/nature11438
- 124.** Moussa M., Lajeunesse D., Hilal G., et al. Platelet rich plasma (PRP) induces chondroprotection via increasing autophagy, anti-inflammatory markers, and decreasing apoptosis in human osteoarthritic cartilage // *Exp Cell Res.* 2017. Vol. 352, N 1. P. 146–156. doi: 10.1016/j.yexcr.2017.02.012
- 125.** García-Prat L., Martínez-Vicente M., Perdiguero E., et al. Autophagy maintains stemness by preventing senescence // *Nature.* 2016. Vol. 529, N 7584. P. 37–42. doi: 10.1038/nature16187
- 126.** Халимов Э.В., Савельев С.Н., Халимов А.Э. и др. Возможности применения обогащенной тромбоцитами аутоплазмы в лечении остеоартроза коленного сустава. Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н.Приорова. 2016. Т. 23. № 3. С. 23–27. doi:10.17816/vto201623323-27

REFERENCES

- 1.** Fairbank TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1948;30B:664–670.
- 2.** King D. The function of the semilunar cartilages. *J Bone Joint Surg.* 1936;18B:1069–1076.
- 3.** Gillquist J, Hamberg P, Lysholm J. Endoscopic partial and total meniscectomy. A comparative study with a short term follow up. *Acta Orthop Scand.* 1982;53(6):975–975. doi: 10.3109/17453678208992857
- 4.** Baratz ME, Fu FH, Mengato R. Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report. *Am J Sports Med.* 1986;14(4):270–275. doi: 10.1177/036354658601400405
- 5.** Jaspers P, de Lange A, Huiskes R, van Rens TJ. The mechanical function of the meniscus, experiments on cadaveric pig knee-joints. *Acta Orthop Belg.* 1980;46(6):663–668.
- 6.** Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ. Homologous meniscus transplantation. Experimental and clinical results. *Int Orthop.* 1989;13(1):1–11. doi: 10.1007/BF00266715
- 7.** Turman KA, Diduch DR. Meniscal repair: indications and techniques. *J Knee Surg.* 2008;21(2):154–162. doi: 10.1055/s-0030-1247812
- 8.** DeHaven KE. Meniscus repair. *Am J Sports Med.* 1999;27(2):242–250. doi: 10.1177/03635465990270022301
- 9.** Noyes FR, Barber-Westin SD. Repair of complex and avascular meniscal tears and meniscal transplantation. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(4):1012–1029.
- 10.** Sutton JB. *Ligaments: their nature and morphology.* London: MK Lewis; 1897.
- 11.** Nawabi DH, Cro S, Hamid IP, Williams A. Return to play after lateral meniscectomy compared with medial meniscectomy in elite professional soccer players. *Am J Sports Med.* 2014;42(9):2191–2198. doi: 10.1177/0363546514540271
- 12.** Stein T, Mehling AP, Welsch F, et al. Long-term outcome after arthroscopic meniscal repair versus arthroscopic partial meniscectomy for traumatic meniscal tears. *Am J Sports Med.* 2010;38(8):1542–1548. doi: 10.1177/0363546510364052
- 13.** Makris EA, Hadidi P, Athanasiou KA. The knee meniscus: structure-function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration. *Biomaterials.* 2011;32(30):7411–7431. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.06.037
- 14.** McDermott ID, Amis AA. The consequences of meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(12):1549–1556. doi: 10.1302/0301-620X.88B12.18140
- 15.** Fox AJ, Bedi A, Rodeo SA. The basic science of human knee menisci: structure, composition, and function. *Sports Health.* 2012;4(4):340–351. doi: 10.1177/1941738111429419
- 16.** Morgan CD, Wojtyls EM, Casscells CD, Casscells SW. Arthroscopic meniscal repair evaluated by second-look arthroscopy. *Am J Sports Med.* 1991;19(6):632–637. doi: 10.1177/036354659101900614
- 17.** Salata MJ, Gibbs AE, Sekiya JK. A systematic review of clinical outcomes in patients undergoing meniscectomy. *Am J Sports Med.* 2010;38(9):1907–1916. doi: 10.1177/0363546510370196
- 18.** Baker BE, Peckham AC, Puppato F, Sanborn JC. Review of meniscal injury and associated sports. *Am J Sports Med.* 1985;13(1):1–4. doi: 10.1177/036354658501300101
- 19.** Hede A, Jensen DB, Blyme P, Sonne-Holm S. Epidemiology of meniscal lesions in the knee. 1,215 open operations in Copenhagen 1982–84. *Acta Orthop Scand.* 1990;61(5):435–437. doi: 10.3109/17453679008993557
- 20.** Steinbruck K. Epidemiology of sports injuries: 25-year-analysis of sports orthopedic-traumatologic ambulatory care. *Sportverletz Sportschaden.* 1999;13(2):38–52. (In German). doi: 10.1055/s-2007-993313
- 21.** Drosos GI, Pozo JL. The causes and mechanisms of meniscal injuries in the sporting and non-sporting environment in an unselected population. *Knee.* 2004;11(2):143–149. doi: 10.1016/S0968-0160(03)00105-4
- 22.** Kulyaba TA, Novoselov KA, Kornilov NN. Diagnostics and treatment of knee joint meniscus injuries. *Travmatologiya i ortopediya Rossii.* 2002;(1):81–87. (In Russ).
- 23.** Englund M, Guermazi A, Gale D, Hunter DJ, Aliabadi P, Clancy M, Felson DT. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons. *N Engl J Med.* 2008;359:1108–1115.

24. Noble J, Hamblen DL. The pathology of the degenerate meniscus lesion. *J Bone Joint Surg Br.* 1975;57(2):180–186.
25. Gardner E, O'Rahilly R. The early development of the knee joint in staged human embryos. *J Anat.* 1968;102(Pt 2):289–299.
26. Gray JC. Neural and vascular anatomy of the menisci of the human knee. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29(1):23–30. doi: 10.2519/jospt.1999.29.1.23
27. Clark CR, Ogden JA. Development of the menisci of the human knee joint. Morphological changes and their potential role in childhood meniscal injury. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(4):538–547.
28. Carney SL, Muir H. The structure and function of cartilage proteoglycans. *Physiol Rev.* 1988;68(3):858–910. doi: 10.1152/physrev.1988.68.3.858
29. Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med.* 1982;10(2):90–95. doi: 10.1177/036354658201000205
30. Ghadially FN, Thomas I, Yong N, Lalonde JM. Ultrastructure of rabbit semilunar cartilages. *J Anat.* 1978;125(Pt 3):499–517.
31. McDermott ID, Sharifi F, Bull AM, et al. An anatomical study of meniscal allograft sizing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12(2):130–135. doi: 10.1007/s00167-003-0366-7
32. Shaffer B, Kennedy S, Klimkiewicz J, Yao L. Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation. *Am J Sports Med.* 2000;28(4):524–533. doi: 10.1177/03635465000280041301
33. Greis PE, Bardana DD, Holmstrom MC, Burks RT. Meniscal injury: I. Basic science and evaluation. *J Am Acad Orthop Surg.* 2002;10(3):168–176. doi: 10.5435/00124635-200205000-00003
34. Kusayama T, Harner CD, Carlin GJ, et al. Anatomical and biomechanical characteristics of human meniscofemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2(4):234–237. doi: 10.1007/BF01845594
35. Messner K, Gao J. The menisci of the knee joint. Anatomical and functional characteristics, and a rationale for clinical treatment. *J Anat.* 1998;193(Pt 2):161–178. doi: 10.1046/j.1469-7580.1998.19320161.x
36. Villegas DF, Hansen TA, Liu DF, Donahue TL. A quantitative study of the microstructure and biochemistry of the medial meniscal horn attachments. *Ann Biomed Eng.* 2008;36(1):123–131. doi: 10.1007/s10439-007-9403-x
37. Berlet GC, Fowler PJ. The anterior horn of the medial meniscus. An anatomic study of its insertion. *Am J Sports Med.* 1998;26(4):540–543. doi: 10.1177/03635465980260041201
38. McKeon BP, Bono JV, Richmond JC. *Knee arthroscopy.* New York, NY: Springer Science and Business Media; 2009.
39. Palastanga N, Soames R. *Anatomy and human movement, structure and function.* Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences; 2011.
40. Rath E, Richmond JC. The menisci: basic science and advances in treatment. *Br J Sports Med.* 2000;34(4):252–257. doi: 10.1136/bjsm.34.4.252
41. Last RJ. The popliteus muscle and the lateral meniscus. *J Bone Joint Surg Br.* 1950;32-B(1):93–99. doi: 10.1302/0301-620X.32B1.93
42. Ghadially FN, Lalonde JM, Wedge JH. Ultrastructure of normal and torn menisci of the human knee joint. *J Anat.* 1983;136(Pt 4):773–791.
43. Herwig J, Egner E, Buddecke E. Chemical changes of human knee joint menisci in various stages of degeneration. *Ann Rheum Dis.* 1984;43(4):635–640. doi: 10.1136/ard.43.4.635
44. Sweigart MA, Athanasiou KA. Toward tissue engineering of the knee meniscus. *Tissue Eng.* 2001;7(2):111–129. doi: 10.1089/107632701300062697
45. Cheung HS. Distribution of type I, II, III and V in the pepsin solubilized collagens in bovine menisci. *Connect Tissue Res.* 1987;16(4):343–356. doi: 10.3109/03008208709005619
46. Bullough PG, Munuera L, Murphy J, Weinstein AM. The strength of the menisci of the knee as it relates to their fine structure. *J Bone Joint Surg Br.* 1970;52(3):564–567.
47. Yasui K. Three dimensional architecture of human normal menisci. *J Jpn Orthop Assoc.* 1978;52(1):391–399.
48. Aspden RM, Yarker YE, Hukins DW. Collagen orientations in the meniscus of the knee joint. *J Anat.* 1985;140(Pt 3):371–380.
49. Beaupre A, Choukroun R, Guidouin R, et al. Knee menisci. Correlation between microstructure and biomechanics. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;(208):72–75.
50. Fithian DC, Kelly MA, Mow VC. Material properties and structure-function relationships in the menisci. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(252):19–31.
51. Skaggs DL, Mow VC. Function of the radial tie fibers in the meniscus. *Trans Orthop Res Soc.* 1990;15:248.
52. Rybalko DYu, Vagapova VSh, Borzilova OH. Peculiarities of histological structure of knee joint menisci on the stages of postnatal ontogenesis. *Meditsinskii vestnik Bashkortostana.* 2015;10(1):99–102. (In Russ).
53. Petersen W, Tillmann B. Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. *Anat Embryol (Berl).* 1998;197(4):317–324. doi: 10.1007/s004290050141
54. Andrews SH, Rattner JB, Abusara Z, et al. Tie-fibre structure and organization in the knee menisci. *J Anat.* 2014;224(5):531–537. doi: 10.1111/joa.12170
55. Voloshin AS, Wosk J. Shock absorption of meniscectomized and painful knees: a comparative in vivo study. *J Biomed Eng.* 1983;5(2):157–161. doi: 10.1016/0141-5425(83)90036-5
56. Pauli C, Grogan SP, Patil S, et al. Macroscopic and histopathologic analysis of human knee menisci in aging and osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2011;19(9):1132–1141. doi: 10.1016/j.joca.2011.05.008
57. Ghosh P, Taylor TK. The knee joint meniscus. A fibrocartilage of some distinction. *Clin Orthop Relat Res.* 1987;(224):52–63.
58. Nakano T, Dodd CM, Scott PG. Glycosaminoglycans and proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus. *J Orthop Res.* 1997;15(2):213–220. doi: 10.1002/jor.1100150209
59. Scott PG, Nakano T, Dodd CM. Isolation and characterization of small proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus. *Biochim Biophys Acta.* 1997;1336(2):254–262. doi: 10.1016/s0304-4165(97)00040-8
60. Adams ME, Muir H. The glycosaminoglycans of canine menisci. *Biochem J.* 1981;197(2):385–389. doi: 10.1042/bj1970385
61. McDevitt CA, Webber RJ. The ultrastructure and biochemistry of meniscal cartilage. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(252):8–18.
62. Miller RR, McDevitt CA. Thrombospondin in ligament, meniscus and intervertebral disc. *Biochim Biophys Acta.* 1991;1115(1):85–98. doi: 10.1016/0304-4165(91)90015-9
63. Nakata K, Shino K, Hamada M, et al. Human meniscus cell: characterization of the primary culture and use for tissue engineering. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;391 Suppl:S208–S218.

64. Verdonk PC, Forsyth RG, Wang J, et al. Characterisation of human knee meniscus cell phenotype. *Osteoarthritis Cartilage*. 2005;13(7):548–560. doi: 10.1016/j.joca.2005.01.010
65. Van der Bracht H, Verdonk R, Verbruggen G, et al. Cell based meniscus tissue engineering. In: Ashammakhi N, Reis RL, Chielini E, editors. *Topics in tissue engineering*. Finland: Oulu University; 2007.
66. Day B, Mackenzie WG, Shim SS, Leung G. The vascular and nerve supply of the human meniscus. *Arthroscopy*. 1985;1(1):58–62. doi: 10.1016/s0749-8063(85)80080-3
67. Danzig L, Resnick D, Gonsalves M, Akeson WH. Blood supply to the normal and abnormal menisci of the human knee. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;(172):271–276.
68. Harner CD, Janshahk MA, Kanamori A, et al. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2000;28(2):144–151. doi: 10.1177/03635465000280020201
69. Meyers E, Zhu W, Mow V. Viscoelastic properties of articular cartilage and meniscus. In: Nimni M, editor. *Collagen: chemistry, biology and biotechnology*. Boca Raton, FL: CRC; 1988.
70. Gardner E. The innervation of the knee joint. *Anat Rec*. 1948;101(1):109–130. doi: 10.1002/ar.1091010111
71. Kennedy JC, Alexander IJ, Hayes KC. Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am J Sports Med*. 1982;10(6):329–335. doi: 10.1177/036354658201000601
72. Samsonova AV, Komissarova EN. *Biomechanics of muscles: an educational and methodological guide*. Ed by A.V. Samsonova. St. Petersburg; 2008. (In Russ).
73. Zimny ML. Mechanoreceptors in articular tissues. *Am J Anat*. 1988;182(1):16–32. doi: 10.1002/aja.1001820103
74. Wilson AS, Legg PG, McNeur JC. Studies on the innervation of the medial meniscus in the human knee joint. *Anat Rec*. 1969;165(4):485–491. doi: 10.1002/ar.1091650404
75. Wein AM. *Pain syndromes in neurological practice*. 3rd edition, ed. corresponding member RAMS A.M. Wein. Moscow: MEDpress-inform; 2001:158.
76. Gronblad M, Korkala O, Liesi P, Karaharju E. Innervation of synovial membrane and meniscus. *Acta Orthop Scand*. 1985;56(6):484–486. doi: 10.3109/17453678508993040
77. Zimny ML, Albright DJ, Dabezies E. Mechanoreceptors in the human medial meniscus. *Acta Anat (Basel)*. 1988;133(1):35–40. doi: 10.1159/000146611
78. Assimakopoulos AP, Katonis PG, Agapitos MV, Exarchou EI. The innervation of the human meniscus. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;(275):232–236.
79. Mine T, Kimura M, Sakka A, Kawai S. Innervation of nociceptors in the menisci of the knee joint: an immunohistochemical study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2000;120(3–4):201–204. doi: 10.1007/s004020050044
80. Walker PS, Erkman MJ. The role of the menisci in force transmission across the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;(109):184–192. doi: 10.1097/00003086-197506000-00027
81. Seedhom BB. Loadbearing function of the menisci. *Physiotherapy*. 1976;62(7):223.
82. Seedhom BB, Hargreaves DJ. Transmission of the load in the knee joint with special reference to the role in the menisci: part II. Experimental results, discussion and conclusion. *Engineering in Medicine*. 1979;8(4):220–228. doi: 10.1243/EMED_JOUR_1979_008_051_02
83. Fukubayashi T, Kurosawa H. The contact area and pressure distribution pattern of the knee. A study of normal and osteoarthrotic knee joints. *Acta Orthop Scand*. 1980;51(6):871–879. doi: 10.3109/17453678008990887
84. Arnoczky SP, Adams ME, DeHaven KE, et al. The meniscus. In: Woo SL, Buckwalter J, editors. *Injury and repair of musculoskeletal soft tissues*. Park Ridge, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1987.
85. Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, Wilder DG. Mechanical changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58(5):599–604.
86. Kurosawa H, Fukubayashi T, Nakajima H. Load-bearing mode of the knee joint: physical behavior of the knee joint with or without menisci. *Clin Orthop Relat Res*. 1980;(149):283–290.
87. Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF, Warren RF. An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee. Tibial displacement, rotation, and torque. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(2):258–264.
88. Levy IM, Torzilli PA, Warren RF. The effect of medial meniscectomy on anterior-posterior motion of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(6):883–888.
89. Levy IM, Torzilli PA, Gould JD, Warren RF. The effect of lateral meniscectomy on motion of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1989;71(3):401–406.
90. Shoemaker SC, Markolf KL. The role of the meniscus in the anterior-posterior stability of the loaded anterior cruciate-deficient knee. Effects of partial versus total excision. *J Bone Joint Surg Am*. 1986;68(1):71–79.
91. Markolf KL, Mensch JS, Amstutz HC. Stiffness and laxity of the knee – the contributions of the supporting structures. A quantitative in vitro study. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58(5):583–594.
92. Bird MD, Sweet MB. A system of canals in semilunar menisci. *Ann Rheum Dis*. 1987;46(9):670–673. doi: 10.1136/ard.46.9.670
93. Renstrom P, Johnson RJ. Anatomy and biomechanics of the menisci. *Clin Sports Med*. 1990;9(3):523–538.
94. MacConaill MA. The function of intra-articular fibrocartilages, with special reference to the knee and inferior radio-ulnar joints. *J Anat*. 1932;66(Pt 2):210–227.
95. MacConaill MA. Studies in the mechanics of synovial joints. *Ir J Med Sci*. 1946;21:223–235.
96. MacConaill MA. The movements of bones and joints 3. The synovial fluid and its assistants. *J Bone Joint Surg*. 1950;32-B(2):244–252. doi: 10.1302/0301-620X.32B2.244
97. Jerosch J, Prymka M, Castro WH. Proprioception of knee joints with a lesion of the medial meniscus. *Acta Orthop Belg*. 1996;62(1):41–45.
98. Saygi B, Yildirim Y, Berker N, et al. Evaluation of the neurosensory function of the medial meniscus in humans. *Arthroscopy*. 2005;21(12):1468–1472. doi: 10.1016/j.arthro.2005.09.006

99. Akgun U, Kocaoglu B, Orhan EK, et al. Possible reflex pathway between medial meniscus and semimembranosus muscle: an experimental study in rabbits. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(9):809–814. doi: 10.1007/s00167-008-0542-x
100. Karahan M, Kocaoglu B, Cabukoglu C, et al. Effect of partial medial meniscectomy on the proprioceptive function of the knee. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010;130(3):427–431. doi: 10.1007/s00402-009-1018-2
101. Kettelkamp DB, Jacobs AW. Tibiofemoral contact area – determination and implications. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54(2):349–356.
102. Marx RE. Platelet-rich plasma: evidence to support its use. *J Oral Maxillofac Surg.* 2004;62(4):489–496. doi: 10.1016/j.joms.2003.12.003
103. Ding C, Martel-Pelletier J, Pelletier JP. Meniscal tear as an osteoarthritis risk factor in a largely non-osteoarthritic cohort: a cross sectional study. *J Rheumatol.* 2007;34(4):776–784.
104. Biedert RM. Treatment of intrasubstance meniscal lesions: a randomized prospective study of four different methods. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(2):104–108. doi: 10.1007/s001670050195
105. MacDonald PB. Arthroscopic partial meniscectomy was not more effective than physical therapy for meniscal tear and knee osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(22):2058. doi: 10.2106/JBJS.9522.ebo745
106. Mishra A, Harmon K, Woodall J, Vieira A. Sports medicine applications of platelet rich plasma. *Curr Pharm Biotechnol.* 2012;13(7):1185–1195. doi: 10.2174/138920112800624283
107. Marx RE, Carlson ER, Eichstaedt RM. Platelet-rich plasma – growth factor enhancement for bone grafts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;85(6):638–646. doi: 10.1016/s1079-2104(98)90029-4
108. Agata H, Asahina I, Yamazaki Y, et al. Effective bone engineering with periosteum-derived cells. *J Dental Res.* 2007;86(1):79–83. doi: 10.1177/154405910708600113
109. Even J, Eskander M, Kang J. Bone morphogenetic protein in spine surgery: current and future uses. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(9):547–552. doi: 10.5435/JAAOS-20-09-547
110. Pereira RC, Scaranari M, Benelli R, et al. Dual effect of platelet lysate on human articular cartilage: a maintenance of chondrogenic potential and a transient proinflammatory activity followed by an inflammation resolution. *Tissue Eng Part A.* 2013;19(11–12):1476–1488. doi: 10.1089/ten.TEA.2012.0225
111. Park SI, Lee HR, Kim S, et al. Time sequential modulation in expression of growth factors from platelet-rich plasma (PRP) on the chondrocyte cultures. *Mol Cell Biochem.* 2012;361(1–2):9–17. doi: 10.1007/s11010-011-1081-1
112. Yang SY, Ahn ST, Rhie JW, et al. Platelet supernatant promotes proliferation of auricular chondrocytes and formation of chondrocyte mass. *Ann Plast Surg.* 2000;44(4):405–411. doi: 10.1097/00000637-200044040-00009
113. Spreafico A, Chellini F, Frediani B, et al. Biochemical investigation of the effects of human platelet releasates on human articular chondrocytes. *J Cell Biochem.* 2009;108(5):1153–1165. doi: 10.1002/jcb.22344
114. Gaissmaier C, Fritz J, Krackhardt T, et al. Effect of human platelet supernatant on proliferation and matrix synthesis of human articular chondrocytes in monolayer and three-dimensional alginate cultures. *Biomaterials.* 2005;26(14):1953–1960. doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.06.031
115. Sundman EA, Cole BJ, Karas V, et al. The anti-inflammatory and matrix restorative mechanisms of platelet rich plasma in osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2014;42(1):35–41. doi: 10.1177/0363546513507766
116. Anitua E, Sánchez M, Nurden AT, et al. Platelet-released growth factors enhance the secretion of hyaluronic acid and induce hepatocyte growth factor production by synovial fibroblasts from arthritic patients. *Rheumatology (Oxford).* 2007;46(12):1769–1772. doi: 10.1093/rheumatology/kem234
117. Yin Z, Yang X, Jiang Y, et al. Platelet-rich plasma combined with agarose as a bioactive scaffold to enhance cartilage repair: an in vitro study. *J Biomater Appl.* 2014;28(7):1039–1050. doi: 10.1177/0885328213492573
118. Mifune Y, Matsumoto T, Takayama K, et al. The effect of platelet-rich plasma on the regenerative therapy of muscle derived stem cells for articular cartilage repair. *Osteoarthritis Cartilage.* 2013;21(1):175–185. doi: 10.1016/j.joca.2012.09.018
119. van Buul GM, Koevoet WL, Kops N, et al. Platelet-rich plasma releasate inhibits inflammatory processes in osteoarthritic chondrocytes. *Am J Sports Med.* 2011;39(11):2362–2370. doi: 10.1177/0363546511419278
120. Bendinelli P, Matteucci E, Dogliotti G, et al. Molecular basis of anti-inflammatory action of platelet-rich plasma on human chondrocytes: mechanisms of NF- κ B inhibition via HGF. *J Cell Physiol.* 2010;225(3):757–766. doi: 10.1002/jcp.22274
121. Wu CC, Chen WH, Zao B, et al. Regenerative potentials of platelet-rich plasma enhanced by collagen in retrieving proinflammatory cytokine-inhibited chondrogenesis. *Biomaterials.* 2011;32(25):5847–5854. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.05.002
122. Lee HR, Park KM, Joung YK, et al. Platelet rich plasma loaded hydrogel scaffold enhances chondrogenic differentiation and maturation with up-regulation of CB1 and CB2. *J Control Release.* 2012;159(3):332–337. doi: 10.1016/j.jconrel.2012.02.008
123. Chakkalakal JV, Jones KM, Basson MA, Brack AS. The aged niche disrupts muscle stem cell quiescence. *Nature.* 2012;490(7420):355–360. doi: 10.1038/nature11438
124. Moussa M, Lajeunesse D, Hilal G, et al. Platelet rich plasma (PRP) induces chondroprotection via increasing autophagy, anti-inflammatory markers, and decreasing apoptosis in human osteoarthritic cartilage. *Exp Cell Res.* 2017;352(1):146–156. doi: 10.1016/j.yexcr.2017.02.012
125. García-Prat L, Martínez-Vicente M, Perdiguero E, et al. Autophagy maintains stemness by preventing senescence. *Nature.* 2016;529(7584):37–42. doi: 10.1038/nature16187
126. Khalimov EV, Saveliev SN, Khalimov AE, et al. Possibilities of using platelet-rich autoplasm in the treatment of osteoarthritis of the knee joint. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2016;23(3):23–27. doi:10.17816/vto201623323-27

ОБ АВТОРАХ

***Руслан Яверович Атлуханов**, врач – травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127473, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-6744>;
eLibrary SPIN: 7162-0145; e-mail: ruslan.atl@mail.ru.

Михаил Петрович Лисицын, д-р мед. наук, профессор,
врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-6744>;
eLibrary SPIN: 6845-8768; e-mail: lissitsyn@rambler.ru.

Адам Муратчериевич Заремук, канд. мед. наук,
врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6630-9735>;
eLibrary SPIN: 4169-3882; e-mail: adamzaremur@mail.ru.

Екатерина Михайловна Лисицына,
врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5184-2561>;
eLibrary SPIN: 7268-0320; e-mail: lis10@yandex.ru.

AUTHORS INFO

***Ruslan Y. Atlukhanov**, MD, traumatologist-orthopedist;
address: 20/1 Delegatskaya str., 127473, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-6744>;
eLibrary SPIN: 7162-0145; e-mail: ruslan.atl@mail.ru.

Mikhail P. Lisitsyn, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-6744>;
eLibrary SPIN: 6845-8768; e-mail: lissitsyn@rambler.ru.

Adam M. Zaremur, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6630-9735>;
eLibrary SPIN: 4169-3882; e-mail: adamzaremur@mail.ru.

Ekaterina M. Lisitsyna, MD,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5184-2561>;
eLibrary SPIN: 7268-0320; e-mail: lis10@yandex.ru.

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author