

АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕНИСКОВ КОЛЕННОГО СУСТАВА

Е.Н. Набиев, А.Р. Байзаков, Е.М. Әбілда

НАО «КазНМУ им С.Д. Асфендиярова»

(ректор - д.м.н., профессор Нургожин Т.С.),

кафедры травматологии и ортопедии, г. Алматы, Республики Казахстан

6365@mail.ru

arnat_bayzakov@mail.ru

Doctor.hause.kz@mail.ru

Авторами проведён обзор литературных источников ближнего и дальнего зарубежья, касающейся структуры, кровоснабжения и функции менисков коленного сустава. Приведены современные сведения по структуре, кровоснабжению, функции менисков. Глубокое понимание структуры, функции и особенности кровоснабжения мениска имеют решающее значение при выборе тактики лечения больных с патологией коленного сустава. Главной задачей операции на мениске должно быть сохранение как можно большего количества здоровых менисков. Тотальные менискэктомия приводит к значительному увеличению риска развития гонартроза, поэтому следует удалять только минимально возможное количество мениска. Сложная структура коленного сустава, особенности кровоснабжения менисков указывают на необходимость проведения углубленного исследования в этой области. Дальнейшие совершенствования методов оперативного лечения повреждений менисков коленного сустава с учетом структуры, особенности кровоснабжения и функции мениска являются актуальной проблемой хирургии суставов.

Ключевые слова: коленный сустав, медиальный мениск, латеральный мениск, анатомия коленного сустава, повреждения менисков.

ANATOMICAL AND FUNCTIONAL FEATURES OF THE MENISCI OF THE KNEE JOINT

E.N. Nabiev, A.R. Baizakov, E.M. Abilda

NJSC "KazNMU named after S. Asfendiyarov"

(Rector - Doctor of Medical Sciences, Professor Nurgozhin T.S.),

Almaty, Republic of Kazakhstan

The authors reviewed the literature sources of near and far abroad concerning the structure, blood supply and function of the menisci of the knee joint. Modern information on the structure, blood supply, and function of the meniscus is given. A deep understanding of the structure, function and characteristics of the blood supply to the meniscus is of decisive importance in choosing the tactics of treating patients with knee joint pathology. The main goal of meniscal surgery should be to preserve as many healthy menisci as possible. Total meniscectomy leads to a significant increase in the risk of developing gonarthrosis, so only the minimum possible amount of meniscus should be removed. The complex structure of the knee joint, the peculiarities of the meniscus blood supply indicate the need for in-depth research in this area. Further improvement of the methods of surgical treatment of injuries of the meniscus of the knee joint, taking into account the structure, features of the blood supply and function of the meniscus, is an urgent problem in joint surgery.

Key words: knee joint, medial meniscus, lateral meniscus, anatomy of the knee joint, meniscal injuries.

Высокая частота повреждения коленного сустава (КС) прежде всего связана с его анатомо-функциональными особенностями. По информации Американского Центра исследований травм (ICRC – Injury Control Research Center) травмы области КС встречаются очень часто и составляют 70% случаев от всех травм нижних конечностей [1]. По сообщению других исследователей, они наблюдаются до 50% травм всех суставов человека [2]. В структуре спортивных травм повреждения КС составляет 50-85% [3,4,5].

Коленный сустав относится к числу крупных суставов тела человека, имеет сложное строение [6]. Сустав образован путем соединения бедренной, большеберцовой кости, а также надколенника и относится к сложным блоковидно-вращательным суставам [7,8]. Во фронтальной оси в КС совершаются сгибание и разгибание с объемом движения в пределах 140-150°. Когда расслаблены коллатеральные связки при сгибании в КС возможно вращательные движения вокруг оси. Амплитуда активного вращения в КС составляет 15°, а пассивного равна 150° [6].

Передняя, задняя крестообразные связки, а также мениски относятся к внутрисуставным элементам КС [9,10].

Мениски в переводе от греческого слова *meniskos*, означают полумесяц [11]. Они представлены двумя волокнисто-хрящевыми структурами полулунной формы, которые расположены между мышелками бедренной кости и плато большеберцовой кости на соответствующей стороне КС и играют важную роль в поддержании нормальной анатомии сустава [12,13].

По сообщению авторов, мениск является важным структурным элементом КС и без его надлежащего функционирования в суставе возникает патологическое распределение силы и нестабильность, которые отрицательно отражаются на биомеханику суставов [14,15]. Из-за особенностей тканей мениски обладают способностью к регенерации после повреждения [16,15].

Каждый мениск покрывает две трети суставной поверхности большеберцовой кости. Наружная часть мениска толстая,

выпуклая, здесь он срастается с капсулой сустава, а внутренняя, истонченная часть, свободно обращается в полость КС. Верхняя часть мениска вогнутая, а нижняя часть уплощена. Передние края мениска между собой соединены при помощи поперечной связки. Задний рог медиального мениска больше переднего, в то время как передний и задний рога латерального мениска, как правило, одинакового размера [17].

Макроструктура. Макроскопически имеются различия между медиальным и латеральным менисками.

Медиальный мениск (ММ) имеет овальную форму и плотно сращен с капсулой коленного сустава на всем протяжении, это сращение также известно, как венечная связка. Длина ММ составляет 40-45 мм, ширина – около 27 мм и он покрывает 51-74% медиальной суставной поверхности [18,19] (плато *tibia*). Мениск имеет треугольное поперечное сечение, задний рог толще переднего. Передний рог ММ крепится к переднему отделу межмышечковой области большеберцовой кости, на 7 мм впереди от прикрепления передней крестообразной связки. Задний рог прочно крепится к задней межмышечковой области большеберцовой кости, непосредственно впереди от места прикрепления задней крестообразной связки [20]. ММ малоподвижен из-за его прочного прикрепления к глубокой поверхности медиальной коллатеральной связки и постоянно прикреплен к капсуле сустава на периферии [21]. Это обстоятельство объясняет частое повреждение ММ, по сравнению с латеральным мениском [17].

Латеральный мениск (ЛМ) более округлый, по сравнению с ММ отличается толщиной и размером. Так, ЛМ короче, чем ММ и длина его составляет от 32 мм до 35 мм [18,19]. Мениск покрывает большую площадь суставной поверхности большеберцовой кости (плато *tibia*) на 75–93% [20]. Задний ЛМ рог крепится к крестообразной связке и внутреннему мышелку бедренной кости при помощи передней и задней мениско-бедренных связок [22]. Они известны как связка Хампфри (*Hamphry*), которая лежит впереди от задней крестообразной связки и связка

Вризберга (Wrisberg), которая лежит позади задней крестообразной связки [23]. По сообщению Kusayama T. et al., обе эти связки имеются у 46% людей, у 100% людей есть хотя бы одна из них [23].

В отличие от ММ, ЛМ не имеет прямого прикрепления к латеральной коллатеральной связке. Имеется только слабое периферическое прикрепление к капсуле сустава. В заднелатеральном отделе подколенной щели ЛМ прободается сухожилием подколенной мышцы, что обеспечивает большую подвижность латерального мениска [24]. Мениско-бедренные связки уменьшают тибio-фemorальный контакт на ЛМ, кроме того, служат стабилизирующими элементами голени в сагиттальной плоскости [22].

В процессе ходьбы меняется положение менисков в коленном суставе. Более подвижным считается ЛМ, диапазон его смещения составляет 9-11 мм. ММ плотно сращен с капсулой, поэтому он менее подвижен, его подвижность колеблется в пределах 2-5 мм. Малый объем движения ММ может служить ключевым моментом, влияющий на частоту его повреждения [25].

Микроструктура. Микроструктура медиального и латерального менисков сходна. Как было отмечено выше, они являются волокнисто-хрящевыми структурами с внеклеточным матриксом, который на 72% состоит из воды [26]. Остальной внеклеточный матрикс представляет собой переплетающуюся сеть коллагеновых волокон, протеогликанов и гликопротеинов [27]. Этот внеклеточный матрикс синтезируется и поддерживается клеточным компонентом менисков [28].

По сообщению исследователей биохимический состав ткани мениска составляет 72% воды, 22% коллагена, 0,8% гликозаминогликанов (ГАГ) и 0,012% ДНК [29,26]. В ткани мениска присутствуют множество протеогликанов, наиболее распространенным из которых является агрекан, другие включают бигликан, декорин, фибромодулин, лубрицин и эластин [30,31,32,33,27]. Эти протеогликаны придают мениску его вязкоупругий, низкий коэффициент трения, но сильный фенотип [33,32]. По мнению Yanagishita M. протеогликаны представляют собой сильно гликозилированные молекулы, что делает их

очень гидрофильными [34]. Они выполняют важную функцию поглощения воды, которая поддерживает ткани под действием сжимающих сил [35,34].

Коллагеновые волокна внутри мениска располагаются в зависимости от области ткани [36,16]. Внутренняя область мениска состоит из небольших коллагеновых волокон со структурой, подобной структуре хряща [37,38]. Внешняя область состоит из переплетенных коллагеновых волокон с радиально ориентированными трехмерными массивами волокон, известными как «связующие волокна». Они лежат перпендикулярно коллагеновым волокнам и берут начало от капсулы сустава, образуя сложную сеть [39,40,36].

Коллагеновые волокна более толстые, имеют продольное направление к длинной оси мениска и тесно вплетаются с радиальными волокнами. Такое расположение волокон позволяет менискам равномерно распределять нагрузку на коленный сустав, уменьшая травму суставного хряща [41,42,33].

По мнению Ramachandran M. [27], коллагеновые волокна внутри мениска расположены в 3 отдельных слоях. Большинство волокон лежат в среднем слое и ориентированы по окружности, что обеспечивает устойчивость к кольцевым напряжениям. Этот слой расположен между двумя поверхностными слоями, в которых имеются короткие радиальные волокна, действующие как связки, обеспечивающие структурную жесткость по отношению к сжимающим силам и предотвращающие продольное расщепление [27], а также сопротивление к сдвигающим силам.

При продольных разрывах мениска зона повреждения располагается между продольными волокнами, и зачастую они не повреждаются. Травматический разрыв мениска сопровождается разрывом в толще радиальных или продольных волокон. Мультивекторное направление имеет зону повреждения при дегенеративных разрывах менисков, возникающие на фоне ОА коленного сустава. Характер повреждения менисков учитывается при наложении артроскопического шва на мениски [8].

Кровоснабжение. Мениски кровоснабжаются преимущественно из четырех латеральных и медиальных коленных артерий, однако наибольшее участие в их кровоснабжении принимают верхняя и нижняя латеральные коленные артерии [6]. Кровоснабжение менисков неравномерно - только 30% эксцентричной поверхности получают сосудистые ветви. Кровоснабжаемые отделы в этой зоне считаются лучшими местами для репарации [6]. По сообщению других авторов, источниками кровоснабжения менисков являются сосуды капсулы коленного сустава и ветви aa. genicularis [10].

По сообщению исследователей, медиальный мениск кровоснабжается только на 20-30%, а латеральный - на 10-25% [43,15]. Третья часть каждого мениска относится к зонам, не имеющим источника кровоснабжения. Эти участки получают питание из синовиальной оболочки, путем диффузии [43].

Средние участки менисков кровоснабжаются удовлетворительно, но местами питаются синовиальной жидкостью. Работы зарубежных исследователей показали, что в подростковом возрасте кровеносные сосуды в менисках доходят до половины его ширины от паракапсулярной зоны [44].

С учетом особенностей кровоснабжения менисков, условно выделены 3 зоны: красная – зона с достаточным кровоснабжением, розовая (переходная) и белая (где отсутствует кровоснабжение) [45].

Вышеперечисленные особенности кровоснабжения менисков должны учитываться при выборе способа лечения различных разрывов мениска.

Функции менисков. Мениск играет важную роль в нормальной биомеханике и функционировании коленного сустава, обеспечивает равномерное распределение нагрузки по суставу, смазку сустава, питание хряща и поглощение ударов [46,47]. Они являются вторичными стабилизаторами КС [8], и участвуют в распределении нагрузок [10].

По сообщению исследователей, медиальный мениск обеспечивает некоторую стабильность в суставе при

дисфункции передней крестообразной связки, его задний рог действует как клин, уменьшая осевую нагрузку на передней поверхности плато большеберцовой кости. Латеральный мениск аналогичную функцию не выполняет [6]. Имеющиеся нервные окончания в менисках выполняют роль в проприоцепции [10].

Клиновидная форма мениска обеспечивает лучшую артикуляцию и стабильность округлого мыщелка бедренной кости на плоском большеберцовом плато [14,48]. Также было показано, что медиальный мениск вносит значительный вклад в предотвращение смещения передней большеберцовой кости наряду с передней крестообразной связкой (ПКС) [49].

Как сообщили Bird M.D.T., Arnoczky S.P., через систему микроканалов в ткани мениска осуществляется транспорт синовиальной жидкости для питания суставного хряща путем вдавливания синовиальной жидкости в хрящ, уменьшая трение на поверхности хряща [50,51].

В 1948 году Fairbank T.J. впервые сообщает о защитной роли менисков КС для хрящевого покрова и отмечает прогрессирование артроза после резекции менисков. Он одним из первых описывает изменения коленного сустава, возникшие после тотальной резекции мениска [10].

Во многих работах исследователи доказали прогрессирование ОА, сужение суставной щели, увеличение контакта между костями, составляющие КС после резекции мениска или менискэктомии [52,53,54].

Paralia A. et al., (2011) [55] наблюдали 32 больных, ранее перенесших тотальную или резекцию менискэктомии коленного сустава. Авторами выявлена зависимость между объемом оставленной части мениска и развитием ОА. Исследователи отмечают высокий риск развития ОА после тотальной менискэктомии.

По сообщению исследователей, у больных, перенёсших менискэктомию наблюдается прогрессирование дегенеративных изменений с образованием остеофитов на мыщелке бедренной кости, выступающих над местом менискэктомии, уплощение мыщелка бедренной кости, сужение суставной щели в пораженном

отсеке коленного сустава [6].

В настоящее время артроскопия является «золотым стандартом» при лечении повреждений и заболеваний КС. Она позволяет наиболее точно оценить внутрисуставную патологию и выполнить ее коррекцию с минимальной травматизацией окружающих тканей [10].

Petty C.A. et al., (2011), использовавшие в своей практике артроскопическую менискэктомию, сообщили об удовлетворительных результатах лечения в 80-10% случаях [56].

По сообщению авторов медиальный мениск играет роль в переднезадней стабильности коленного сустава во всем диапазоне движения, о чем свидетельствует увеличение силы на месте от 33% до 55% на переднюю крестообразную связку колена после медиальной менискэктомии [57].

Одной из особенностью мениска является наличие проприоцептивных механических рецепторов в виде телец Ruffini и Pacinian, расположенных в передних и задних рогах менисков, способствующих восприятию положения сустава и афферентной сенсорной обратной связи [58,59]. Таким образом, мениски КС обладают проприоцептивной функцией [10].

Ученые впервые оценили проприоцепцию у больных с резекцией менисков в 1996 г. [60]. N. tibialis posterior служит периферическим отделом проприоцептивного анализатора КС. При этом нервные окончания сосредоточены больше в переднем роге, заднем роге мениска и наружной части ткани мениска [61].

Исследователями доказаны наличия в ткани мениска свободных нервных окончаний, тельцов Ruffini, Pacinian и так называемых сухожильных органов Golgi [62,63]. Когда резецируется часть мениска, то вместе с ним удаляются нервные окончания, что в свою очередь вызывает дефицит проприоцептивной чувствительности КС [62].

По сообщению исследователей активное снижение проприоцептивной чувствительности КС наблюдается спустя 2 года после частичной резекции мениска [64,65].

Таким образом, мениски КС являются необходимым структурным элементом для нормального функционирования сустава. Глубокое понимание структуры, функции и особенности кровоснабжения мениска имеет решающее значение при выборе тактики лечения больных с патологией КС. Главной задачей операции на мениске должно быть сохранение как можно большего количества здоровых менисков. Тотальные менискэктомия приводит к значительному увеличению риска развития гонартроза, поэтому следует удалять только минимально возможное количество мениска. В этом плане совершенствование методов оперативного лечения повреждений менисков КС является актуальной проблемой хирургии суставов.

Литература

1. *Современные принципы артроскопической коррекции свежих повреждений крестообразных связок* / Г.Д. Лазишвили, А.В. Скороглядов, А.Б. Бут-Гусаим, И.В. Храменкова, Н.В. Челнокова, П.А. Скороглядов // *Российский медицинский журнал*. - 2006. - №5. - С.47-50.
2. Филипов, О.П. *Диагностика и лечение повреждений менисков при травме коленного сустава* : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук: 14.01.15. / Филипов О.П. – Москва: Б.и., 2006. - 22 с.
3. Меньшикова, И.В. *Современные подходы к диагностике и лечению остеоартроза коленного сустава*: автореф. дис. на соиск. учен. степ. доктора мед. наук: 14.01.15 / Меньшикова И.В. – Москва: Б.и., 2010. - 51 с.
4. Бакарджиева, А.Н. *Лучевая диагностика заболеваний и повреждений коленного сустава*: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук: 14.01.15. / Бакарджиева А.Н. – Москва: Б.и., 2010. - 17 с.
5. Брюханов, А.В., Васильев А.Ю. *Магнитно-резонансная томография в остеологии* / А.В. Брюханов, А.Ю. Васильев // М.: Медицина, 2008. - 200 с.
6. *Анатомия коленного сустава: учеб. пособие* / Под ред. М. В. Гилева; ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России. – Изд-во УГМУ: Екатеринбург, 2016. - 60 с.
7. *Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 1: anatomy, biomechanics and diagnostics* / W.W. Philipp, Z. Bálint, Nyaluma N., Jonathan D.H., Alexandra H., Eric H.S., Kristian S., Volker M. // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* - 2021. - 29(3). - P. 672-681.
8. Клыжин, М.А. *Оптимизация применения*

ультразвукового и МРТ методов исследования при повреждениях мягкотканых структур коленного сустава: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук: 14.01.15. / Клыжнин М.А. – Томск : Б.и., 2009. – 29 с.

9. Котельников, Г.П. Травматология / Г.П. Котельников // *нац. рук. - ГЭОТАР-Медиа*, 2011. – 108 с.

10. Рязанцев, М.С. Реконструктивная хирургия при пластике передней крестообразной связки: отдаленные результаты // автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук: 14.01.15. / Рязанцев, М.С. – Москва: Б.и., 2017. – 22 с.

11. James, K.B. Knee Menisci. Structure, Function, and Management of Pathology / K.B. James, J. Andrew, N. Thomas // *Journal List Cartilage*. – 2017. – 8(2). – P. 99-104.

12. Platze, W. Color atlas of human anatomy, vol. 1: locomotor system. 5th ed. / W. Platze // New York: Thieme; – 2004. – 7. P. 66-74.

13. McDermott, I.D. The consequences of meniscectomy / I.D. McDermott, A.A. Amis // *J. Bone Jt. Surg.* – 2006. – 88. – P.1549-1556.

14. Fox, A.J.S. The Basic Science of Human Knee Menisci: Structure, Composition, and Function / A.J.S. Fox, A. Bedi, S.A. Rodeo // *Sports Health*. – 2012. – 4. – P. 340-351.

15. Arnoczky, S.P. Microvasculature of the human meniscus / S.P. Arnoczky, R.F. Warren // *Am. J. Sports Med.* – 1982. – 10. P. 90-95.

16. Kawamura, S. Biomechanics and healing response of the meniscus / S. Kawamura, K. Lotito, S.A. Rodeo // *Oper. Tech. Sports Med.* – 2003. – 11. – P. 68-76.

17. Epidemiology of Meniscal Injury Associated with ACL Tears in Young Athletes / Kilcoyne K.G. [et al.]. // *Orthopedics*. – 2012. – 3:(35). – P. 6208-212.

18. An anatomical study of meniscal allograft sizing / A.A. Amis, I.D. McDermott, F. Sharifi, A.M. Bull, C.M. Gupte, R.W. Thomas // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2004. – 12. – P.130-135.

19. Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation / B. Shaffer, S. Kennedy, J. Klimkiewicz, L.Yao // *Am J Sports Med.* – 2000. – 28. – P. 524-533.

20. Drake, R.L. *Gray's anatomy for students*. 2nd ed. Philadelphia, PA / R.L. Drake, A.W., Vogl, A.W.M Mitchell // Churchill Livingstone. – 2010. – 3. – P. 558-560.

21. The relationship between the medial collateral ligament and the medial meniscus: a topographical and biomechanical study / G. Stein, J. Koebeke, C. Faymonville, J. Dargel, L.P. Müller, G. Schiffer // *Surg Radiol Anat.* – 2011. – 33. – P. 763-766.

22. Anatomy and Vascularization / Zdanowicz U. [et al.]. // *Springer*. – 2016. – 4. – P. 5-21.

23. Anatomical and biomechanical characteristics of human meniscofemoral ligaments / T. Kusayama, C.D. Harner, G.J. Carlin, J.W. Xerogeanes, B.A. Smith // *Knee*

Surg Sports Traumatol Arthrosc. – 1994. – 2. – P. 234-237.

24. Cohn, A.K. Popliteal hiatus of the lateral meniscus. Anatomy and measurement at dissection of 10 specimens / A.K. Cohn, D.B. Mains // *Am J Sports Med.* – 1979. – 7. – P. 221-6.

25. Rotatory stability of the knee after arthroscopic meniscus suture repair: a 5-to-17-year follow-up study of isolated medial and lateral meniscus tears / Majewski M. [et al.]. // *Acta Orthopaedica Belgica*. – 2009. – 3(75). – P. 354-360.

26. Herwig, J.U. Chemical changes of human knee joint menisci in various stages of degeneration / J.U. Herwig, E.B. Egner, E.C. Buddecke // *Ann Rheum Dis.* – 1984. – 43. – P.635-640.

27. Ramachandran, M. Basic orthopaedic sciences: the Stanmore guide. London, England / M. Ramachandran // Hodder Arnold. – 2007. – P. 80-84.

28. Comparative spatial and temporal localisation of perlecan, aggrecan and type I, II and IV collagens in the ovine meniscus: an ageing study / J. Melrose, S. Smith, M. Cake, R. Read, J. Whitelock, *Histochem Cell Biol.* – 2005. – 124. – P. 225-235.

29. Shea, J.J., Shelbourne K.D. Repair of locked bucket-handle meniscal tears in knees with chronic anterior cruciate ligament deficiency / J.J. Shea, K.D. Shelbourne // *The American journal of sports medicine*. – 2008. – 2(31). – P.216- 220.

30. Herwig, J. Chemical changes of human knee joint menisci in various stages of degeneration / J. Herwig, E. Egner, E. Buddecke, // *Ann. Rheum. Dis.* – 1984. – 43. – 635-640.

31. Nakano, T., Dodd C.M., Scott P.G. Glycosaminoglycans and proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus / T. Nakano, C.M. Dodd, P.G. Scott, // *J. Orthop. Res.* – 1997. – 15. – P.213-220.

32. The molecular structure and lubricating activity of lubricin isolated from bovine and human synovial fluids / D.A. Swann, F.H. Silver, H.S. Slayter, W. Stafford, E. Shore // *Biochem. J.* – 1985. – 225. – P.195-201.

33. Biomechanics of the meniscus-meniscal ligament construct of the knee / Masouros S.D. [et al.]. // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. – 2008. – 12(16). – P.1121-1132.

34. Yanagishita, M. Function of proteoglycans in the extracellular matrix / M. Yanagishita // *Pathol Int.* – 1993. – 43. – P.283-93.

35. Scott, P.G. Isolation and characterization of small proteoglycans from different zones of the porcine knee meniscus / P.G. Scott, T. Nakano, C.M. Dodd, // *Biochim Biophys Acta.* – 1997. – 13(36). – P. 254-262.

36. Meniscal injury: I. Basic science and evaluation / P.E. Greis [et al.]. // *Journal of the American Academy of Orthopedic Surgeons*. – 2002. – 3(10). – P.168 - 176.

37. Current concepts on structure–function relationships in the menisci. Connect / S.H.J. Andrews, A.B. Adesida, Z. Abusara, N.G. Shrive // *Tissue Res.*

2017. - 58. - P.271-281.

38. An evaluation of meniscal collagenous structure using optical projection tomography / S.H.J. Andrews, J.L. Ronsky, J.B. Rattner, N.G. Shrive, H.A. Jamniczky // *BMC Med. Imaging*. - 2013. - 13. - P. 21-26.

39. Comparative spatial and temporal localisation of perlecan, aggrecan and type I, II and IV collagen in the ovine meniscus: An ageing study / Melrose, J., S. Smith, M. Cake, R. Read, J. Whitelock // *Histochem Cell Biol.* - 2005. - 124. - P. - 225-235.

40. The Meniscus Tear: A Review of Stem Cell Therapies / George Jacob, Kazunori Shimomura, Aaron J. Krych, and Norimasa Nakamura // *Journal List Cells*. - 2020. - (1). - P. 1421-1423.

41. Modern treatment of meniscal tears / M.N. Doral, O. Bilge, G. Huri, E. Turhan, R. Verdonk // *EFORT Open Rev.* - 2018. - 3. - P.260-268.

42. Fritz, J.M. Rehabilitation following allograft meniscal transplantation: a review of the literature and case study / J.M., Fritz, J.J., Irrgang, C.D. Harner // *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy*. - 1998. - 2(24) - P.98-106.

43. Arnoczky, S.P. The microvasculature of the meniscus and its response to injury An experimental study in the dog / S.P. Arnoczky, R.F. Warren // *The American Journal of Sports Medicine*. - 1983. - 3(11). - P.131-141.

44. Богатов, В.Б. Гистоморфологические изменения в повреждённых менисках у детей / В.Б. Богатов, В.Н. Белоногов, О.В. Матвеева, // *Травматология и ортопедия России*. - 2010. - № 4. - С. 30-36.

45. Pereira H. [et al.]. The meniscus: basic science // *Springer*. - 2013. - 5. - P. 7-14.

46. Cameron, H.U. The structure of the meniscus of the human knee joint / H.U. Cameron, I. Macnab // *Clin. Orthop. Relat. Res.* - 1972. - 89. - P. 215-219.

47. Material properties of the normal medial bovine meniscus / C.S. Proctor, M.B. Schmidt, R.R. Whipple, M.A. Kelly, V.C. Mow // *J. Orthop. Res.* - 1989. - 7. - P. 771-782.

48. Hoshino, A. Impact-absorbing properties of the human knee / A. Hoshino, W.A. Wallace // *J. Bone Jt. Surg.* - 1987. - 69. - P. 807-811.

49. Markolf, K.L. Stiffness and laxity of the knee —The contributions of the supporting structures / K.L. Markolf, J.S. Mensch, H.C. Amstutz // *J. Bone Jt. Surg. Am.* - 1976. - 58. - P.583-594.

50. Bird, M.D.T. Canals in the semilunar meniscus: Brief report / M.D.T. Bird, M.B.E. Sweet // *J. Bone Jt. Surg.* - 1988. - 70. - 839 p.

51. Arnoczky, S.P. Meniscal repair using an exogenous fibrin clot. An experimental study in dogs / S.P. Arnoczky, R.F. Warren, J.M. Spivak // *J. Bone Jt. Surg.* -

1988. - 70. - 1209-1217.

52. Beaufils, P. [et al.]. Focusing on results after meniscus surgery / P. Beaufils [et al.]. // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. - 2015. - 1(23). - P. 38-42.

53. Englund, M. The Role of the Meniscus in Osteoarthritis Genesis / M. Englund, // *Medical Clinics of North America*. - 2009. - 1(93). - P. 37-43.

54. Soh, T.L., Lim M.H. Demographics of Multiligamentous Knee Injuries at a Level 1 Trauma Centre / T.L. Soh, M.H. Lim // *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*. - 2016. - 1(45). - P. 35-37.

55. Papalia, R. [et al.]. Meniscectomy as a risk factor for knee osteoarthritis: a systematic review / R. Papalia [et al.]. // *British medical bulletin*. - 2011. - 1(99). - P. 89-106.

56. Petty, C.A. Does Arthroscopic Partial Meniscectomy Result in knee Osteoarthritis? A systematic Review with a Minimum of 8 years Follow-up / C.A., Petty, J.H. Lubowits, // *The journal of Arthroscopic and Related Surgery*. - 2011. - 3(27). - P. 419-424.

57. Fithian, D.C. Material properties and structure-function relationships in the menisci / D.C. Fithian, M.A., Kelly, V.C. Mow // *Clin Orthop Relat Res.* - 1990. - (252). - P.19-31.

58. Skinner, H.B. Age related decline in proprioception / H.B. Skinner, R.L., Barrack, S.D. Cook // *Clin. Orthop. Relat. Res.* - 1984. - 184. - P.208-211.

59. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction / B. Reider, M.A. Arcand, L.H. Diehl, K. Mroczek, A. C.C. Abulencia Stroud, M. Palm, J. Gilbertson, P. Staszak // *Arthroscopy*. - 2003. - 19. - P.2-12.

60. Jerosch, J. Proprioception of the knee joints with a lesion of the medial meniscus / J. Jerosch, M. Prymca, W.H. Castro // *Acta Orthopedic Berlin*. - 1996. - 1(62). - P.41-45.

61. Бритько, А.А. Проприоцепция коленного сустава у пациентов после менискораффии / А.А. Бритько // *Журнал Гроденского государственного медицинского университета*. - 2017. - №15(5). - С.569-573.

62. Mine, T. [et al.]. Innervation of nociceptors in the meniscus of the knee joint / T. Mine [et al.]. // *Archives Orthopedic and Trauma Surgery*. - 2000. - 125(3/4). - P. 201-204.

63. Assimacopoulos, A.P. [et al.]. The innervation of the human meniscus / A.P. Assimacopoulos [et al.]. // *Clinical Orthopedics*. - 1998. - 275(30). - P. 232-236.

64. Karahan, M. [et al.]. Effect of partial medial meniscectomy on the proprioceptive function of the knee / M. Karahan [et al.]. // *Archives Orthopedic and Trauma Surgery*. - 2015. - 2(3). - P.104-108.