



ПРЕНАТАЛЬНЫЙ ОНТОГЕНЕЗ СВЯЗОК НАДКОЛЕННИКА ЧЕЛОВЕКА Иманова В.Р., Вагапова В.Ш., Рыбалко Д.Ю., Меньшикова З.Ф., Почуева Н.Н.

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия, e-mail: pochueva1975@bk.ru

Для цитирования:

Иманова В.Р., Вагапова В.Ш., Рыбалко Д.Ю., Меньшикова З.Ф., Почуева Н.Н. Пренатальный онтогенез связок надколенника человека. Морфологические ведомости. 2023;31(4):826. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31\(4\).826](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31(4).826)

Резюме. Этиологию заболеваний коленного сустава в настоящее время связывают с диспластическими нарушениями, формирующимися уже в пренатальном онтогенезе. Цель исследования - выявить особенности дифференцировки гистологической структуры, различий точек фиксации и направления волокон связок надколенника в пренатальном периоде развития человека. Материалами исследования послужили гистологические срезы коленных суставов 20 эмбрионов и плодов обоего пола в возрасте от 6 до 38 недель, окрашенных гематоксилином и эозином и по Ван-Гизону. В ходе исследования выявлены особенности дифференцировки клеточного состава, сроки формирования коллагеновых волокон различного типа на разных сроках пренатального онтогенеза и двухслойное строение медиальной и латеральной поддерживающих связок, связки надколенника, связанных между собой солитарными волокнами. Определена этапность развития анатомических структур связочного аппарата коленного сустава. Приведенные особенности строения связок надколенника позволяют утверждать о формировании у плода человека единого морфологического комплекса «сухожилия четырехглавой мышцы бедра – надколенник». Полученные данные позволяют также считать, что надколенник у плода человека имеет более прочную фиксацию с медиальной стороны, чем с латеральной стороны за счет пучков сухожилия медиальной широкой мышцы бедра и связки надколенника. К моменту рождения надколенник и производные сухожилий четырехглавой мышцы бедра представляют собой единый морфологический комплекс коленного сустава. Между поверхностным и глубоким слоями связок надколенника имеются солитарные пучки коллагеновых волокон, переходящие из одного слоя в другой, обеспечивающие с одной стороны прочность, с другой – синхронность развития функций связок. Именно этим можно объяснить отклонение верхушки надколенника к моменту рождения от длинной оси бедра в медиальную сторону, обуславливающее вальгусное положение нижней конечности у новорожденных. Полученные результаты исследования могут иметь прикладное значение в совершенствовании диагностики и хирургическом лечении нарушений развития опорно-двигательного аппарата в детской ортопедии и травматологии.

Ключевые слова: надколенник, связки надколенника, развитие, пренатальный онтогенез, коленный сустав

Статья поступила в редакцию 14 октября 2023

Статья принята к публикации 17 декабря 2023

THE PRENATAL ONTOGENESIS OF HUMAN PATELLAR LIGAMENTS Imanova VR, Vagapova VSh, Rybalko DYU, Men'shikova ZF, Pochueva NN

Bashkir State Medical University, Ufa, Russia, e-mail: pochueva1975@bk.ru

For the citation:

Imanova VR, Vagapova VSh, Rybalko DYU, Men'shikova ZF, Pochueva NN. The prenatal ontogenesis of human patellar ligaments. Morphological Vedomosti – Morphological newsletter. 2023;31(4):831. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31\(4\).831](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31(4).831)

Summary. The etiology of diseases of the knee joint is currently associated with dysplastic disorders that develop already in prenatal ontogenesis. The purpose of the study is to identify the features of differentiation of the histological structure, differences in points of fixation and direction of fibers of the patellar ligaments in the prenatal period of human development. The research materials included histological sections of the knee joints of 20 embryos and fetuses of both sexes aged from 6 to 38 weeks, stained with hematoxylin and eosin and Van Gieson. The study revealed the features of differentiation of cellular composition, the timing of the formation of collagen fibers of various types at different stages of prenatal ontogenesis and the two-layer structure of the medial and lateral suspensory ligaments, the patellar ligament, interconnected by solitary fibers. The stages of development of the anatomical structures of the ligamentous apparatus of the knee joint have been determined. The given structural features of the patellar ligaments allow us to assert the formation in the human fetus of a single morphological complex “quadriceps femoris tendon - patella”. The data obtained also suggest that the patella in the human fetus has a stronger fixation on the medial side than on the lateral side due to the tendon bundles of the vastus medialis muscle and the patellar ligament. By the time of birth, the patella and derivatives of the tendons of the quadriceps femoris muscle represent a single morphological complex of the knee joint. Between the superficial and deep layers of the patellar ligament there are solitary bundles of collagen fibers, passing from one layer to another, providing strength on the one hand, and synchronicity in the development of ligament functions on the other. This is precisely what can explain the deviation of the apex of the patella at the time of birth from the long axis of the femur to the medial side, causing the valgus position of the lower limb in newborns. The results of the study may have practical significance in improving the diagnosis and surgical treatment of developmental disorders of the musculoskeletal system in pediatric orthopedics and traumatology.

Key words: patella, patellar ligament, development, prenatal ontogenesis, knee joint

Article received 14 October 2023

Article accepted 17 December 2023

Введение. Этиологию заболеваний коленного сустава в настоящее время связывают с диспластическими изменениями, формирующимися уже в пренатальном онтогенезе [1]. Коленный сустав наиболее часто подвержен как спортивным травмам, так и заболеваниям. По мнению Воронова и Шпакова (2017), механические повреждения в суставе возникают вследствие больших нагрузок, действующих на сжатие и сдвиг суставных поверхностей [2]. В литературе имеются сведения об эмбриогенезе коленного сустава [3-9], и о функциональной анатомии его элементов [10]. Однако полная и целостная комплексная морфологическая характеристика элементов фиксирующего аппарата коленного сустава с позиций их функционального единства в литературе не представлена [11]. С точки зрения становления функций коленного сустава, как органа, важное значение и большой интерес представляет комплексное исследование надколенника с двух позиций: как сесамовидной кости в комплексе с сухожилием четырехглавой мышцы бедра, и, как кости, находящейся в составе коленного сустава с его фиксирующим аппаратом [6].

Цель исследования: выявить особенности дифференцировки гистологической структуры, различий точек фиксации и направления волокон связок надколенника в пренатальном периоде развития человека.

Материалы и методы исследования. Проведены исследования гистологических срезов коленных суставов 20 эмбрионов и плодов обоего пола в возрасте от 6 до 38 недель с окраской гематоксилином и эозином и по Ван-Гизону. При определении возраста плода, с учетом анамнеза беременности, использован логико-математический метод, разработанный Вагаповой и Стрижковым [12-13]. Произведен статистический анализ полученных данных с определением средней арифметической и ее ошибки ($M \pm m$).

Результаты исследования и обсуждение. На шестой неделе эмбрионального развития сухожилие четырех-

главой мышцы бедра определяется в виде клеточного тяжа, идущего к верхней части зачатка надколенника и представлено плотно прилегающими друг к другу клетками с палочковидными ядрами. В клеточных тяжах зачатков медиальной (далее - МПС) и латеральной (далее - ЛПС) поддерживающих связок слабо контурированы оболочки клеток, но четко выражены ядра различной величины овальной и округлой форм. При этом, мелкие ядра окрашиваются интенсивнее.

К концу эмбрионального периода зачаток МПС становится более отчетливо выраженным, чем таковой ЛПС. При этом, в нем среди клеток с овальными, интенсивно окрашенными ядрами, появляются клетки веретенообразной формы с мелкими гранулами хроматина в ядрах различной величины. В ядрах четко определяются ядрышки, что свидетельствуют об активности в них метаболических процессов. Ширина медиального тяжа у эмбрионов этого возраста составляет $13,3 \pm 0,12$ мкм, а латерального – $12,34 \pm 0,13$ мкм.

Зачаток связки надколенника (далее - СН) в этом возрасте представлен плотно прилегающими друг к другу малодифференцированными клетками. На седьмой неделе среди мезенхимных клеток зачатков связок надколенника появляются единичные эритробласты с ядрами. Ранний плодный период развития характеризуются значительными изменениями строения зачатков связок. На третьем месяце внутриутробного развития в клеточных тяжах ЛПС и МПС впервые появляются клетки с палочковидной формой ядер и возрастает плотность клеток. Продольная ось этих клеток ориентируется вдоль тяжей. Ширина тяжа МПС достигает $43,44 \pm 0,16$ мкм, ЛПС – $45,5 \pm 0,15$ мкм. Зачаток МПС становится более четким, чем таковой ЛПС. В этом возрасте клетки описываемых анатомических образований распределяются в два слоя, поверхностном и глубоком. Поверхностный слой обоих тяжей расширяется и соединяется с зачатком большеберцовой кости. Глубокий слой теряется в окружающей надколенник мезенхиме.

На двенадцатой неделе развития отмечаются изменения и в зачатке СН, большая часть клеток в котором имеют ядра округлой или овальной форм. Среди них появляются единичные клетки с ядрами палочковидной формы. Они также плотно прилегают друг к другу, как и в зачатках МПС и ЛПС. В дистальной половине зачаток СН веерообразно расширяется и клетки, также как в зачатках МПС и ЛПС, приобретает двухслойное расположение – в поверхностном и глубоком. Толщина этих слоев одинакова и составляет $14,4 \pm 0,5$ мкм.

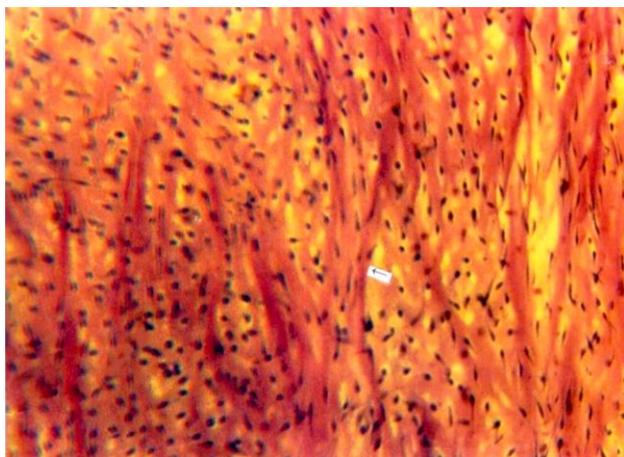


Рис 1. Микрофото гистологического препарата фронтального среза сухожилия четырехглавой мышцы бедра плода человека 16 недель развития. Стрелкой обозначены пучки коллагеновых волокон первого порядка. Окр. по Ван-Гизон. Ув.: $\times 600$

В сухожилии четырехглавой мышцы бедра пучки коллагеновых волокон первого порядка на шестом месяце развития формируют пучки второго порядка, а на седьмом – пучки третьего порядка. Кровеносные сосуды в конце развития сухожилия четырехглавой мышцы бедра имеют продольное и поперечное направление и проникают в волокнистый хрящ основания надколенника. В толще поверхностных волокон сухожилия прямой мышцы бедра, проходящих по наружной поверхности надколенника, сосуды ориентируются также в продольном и поперечном направлениях, от которых ветви кровеносных сосудов направляются в связку надколенника.

На шестнадцатой неделе внутриутробного развития в зачатках СН выявляются слабо контурирующиеся коллагеновые волокна, которые в последующем утолщаются. Некоторые из них формируют мелкие пучки, отделенные друг от друга слоем веретенообразных клеток с удлинненными ядрами. Коллагеновые волокна в общем сухожилии четырехглавой мышцы бедра начинают ориентироваться параллельно друг к другу и формируют коллагеновые волокна первого порядка (рис. 1).

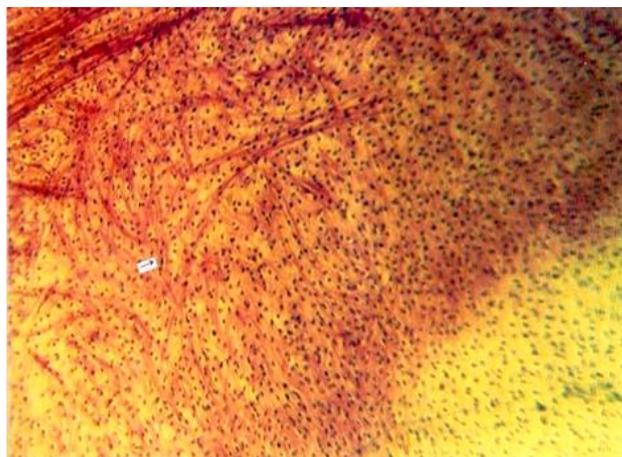


Рис 2. Микрофото гистологического препарата волокнистого хряща основания надколенника плода человека 20 недель развития. Стрелкой указаны коллагеновые волокна в различных направлениях. Окр.: по Ван-Гизон. Ув.: $\times 400$

В МПС и ЛПС на шестом месяце развития также формируются пучки коллагеновых волокон первого порядка. В этот период среди коллагеновых волокон в связках надколенника определяются эластические волокна. Они имеют различную толщину. На шестом и седьмом месяцах их толщина составляет $6,6 \pm 1,2$ мкм, на восьмом и девятом – $7,1 \pm 0,8$ мкм, а к моменту рождения достигает $7,5 \pm 0,8$ мкм. Медиальные пучки коллагеновых волокон этих связок направляются к краям надколенника под острым углом, внедряются в него и формируют здесь волокнистые элементы хряща (рис. 2). Вместе с волокнистыми элементами МПС и ЛПС в зачаток

надколенника вступают кровеносные сосуды, которые направляются к его краю под прямым углом и образуют здесь сосудистые клубочки. Коллагеновые пучки МПС у медиального края надколенника имеют меньшую степень извилистости. Пучки коллагеновых волокон наружных половин МПС и ЛПС проходят вертикально вниз и фиксируются со своей стороны к соответствующему мыщелку большеберцовой кости.

На седьмом месяце развития пучки коллагеновых волокон первого порядка в МПС и ЛПС группируются в пучки второго порядка, которые формируют два слоя, поверхностный и глубокий. Поверхностный слой волокон прикрепляются к надколеннику по-разному, к основанию и его краям под острым углом, а к верхушке направляются по касательной. Пучки коллагеновых волокон глубокого слоя названных связок проходят к основанию надколенника, к верхней и нижней третям его краев под острым углом, к средней трети сесамовидной кости – под прямым углом. На уровне его верхушки некоторые пучки коллагеновых волокон глубокого слоя продолжают и вплетаются в жировое тело, а другие – в связку надколенника под острым углом. Между отдельными волокнами поверхностного и глубокого слоев этих связок выявляются солитарные волокна, переходящие из одного слоя в другой под прямым или косым углами.

Пучки коллагеновых волокон второго порядка в МПС и ЛПС имеют различную толщину. На шестом и седьмом месяцах развития она составляет $45,5 \pm 1,34$ мкм и $48,3 \pm 1,23$ мкм; на восьмом и девятом – $51,5 \pm 1,16$ мкм и $54,3 \pm 1,45$ мкм, соответственно. На девятом месяце впервые в МПС и ЛПС образуются пучки коллагеновых волокон третьего порядка, средняя толщина которых достигает $75 \pm 1,14$ мкм и остается таковой до момента рождения.

В СН пучки коллагеновых волокон второго порядка образуются также на шестом месяце внутриутробного развития, а на седьмом объединяются в пучки третьего порядка. Толщина пучков

второго порядка в этой связке составляет, в среднем, $48 \pm 1,26$ мкм, а третьего порядка – до $95 \pm 1,23$ мкм. К моменту рождения толщина описываемых пучков возрастает, соответственно, до $52 \pm 1,13$ мкм и до $98 \pm 1,23$ мкм. На восьмом месяце внутриутробного развития некоторые коллагеновые волокна в пределах СН переходят из одного пучка в другой, на девятом месяце формируют сетевидную структуру.

Пучки коллагеновых волокон СН, также как в и вышеописанных связках, формируют два слоя, поверхностный и глубокий. При этом, волокна поверхностного слоя ориентируются к продольной оси связки поперечно, а глубокой вдоль нее. В нижней половине связки они перекрещиваются друг с другом в сагиттальной плоскости под острым углом и меняются местами. В результате этого пучки коллагеновых волокон в СН имеют спиральный ход.

На девятом и десятом месяцах пренатального онтогенеза в СН возрастает степень извилистости коллагеновых волокон. В этом же возрасте увеличивается количество пучков коллагеновых волокон глубокого слоя МПС и ЛПС, которые направляются к верхней трети СН. В связке надколенника помимо пучков, начинающихся от верхушки, определяются две группы дополнительных пучков. Одни из них начинаются от средней трети наружной поверхности надколенника и проникают в толщу связки под прямым углом. Другие представляют собой поверхностный слой пучков коллагеновых волокон сухожилия прямой головки четырехглавой мышцы бедра, которые перекидываются через надколенник, проходят по наружной поверхности связки надколенника и фиксируются к бугристости большеберцовой кости и к переднемедиальной поверхности его медиального мыщелка. Описываемые дополнительные пучки коллагеновых волокон на девятом и десятом месяцах развития также становятся более извилистыми. Каждая фиксирующая связка надколенника состоит из поверхностного и глубокого слоев коллагеновых волокон, направление и точки прикрепления которых отличаются.

Полученные нами данные позволяют считать, что надколенник у плода человека имеет более прочную фиксацию с медиальной стороны, чем с латеральной за счет пучков сухожилия медиальной широкой мышцы бедра и СН. Именно этим можно объяснить отклонение верхушки надколенника к моменту рождения от длинной оси бедра на 25° в медиальную сторону и обуславливающее вальгусное положение нижней конечности у новорожденных [4, 7]. Результаты нашей работы согласуются с данными Maeseneer и Roy Van (2000), выявивших по данным магнитно-резонансных и сонографических исследований тот факт, что удерживатели надколенника представляют собой двухслойную конструкцию, состоящую из суперфасциального и глубокого слоев связок коленного сустава [14].

Заключение. Таким образом, к моменту рождения человека надколен-

ник, производные сухожилия четырехглавой мышцы бедра: связка надколенника, медиальная и латеральная поддерживающие связки представляют собой единый морфологический комплекс коленного сустава. Между поверхностным и глубоким слоями связок надколенника имеются солитарные пучки коллагеновых волокон, переходящие из одного слоя в другой, обеспечивающие с одной стороны прочность, с другой – синхронность их функций связок. Коллагеновые волокна медиальной поддерживающей связки, прикрепляющиеся к краю надколенника у плода человека, имеют меньшую степень извилистости, чем латеральной поддерживающей связки, что свидетельствует о наличии большей нагрузки на медиальный мыщелок большеберцовой кости уже в пренатальном периоде развития.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Imanova VR, Vagapova VSh. Osobennosti razvitiya nadkolennika u plodov. *Morfologiya*. 2006;129(4):56. In Russian
2. Voronov AV, Shpakov ASH. Biomekhanicheskie osobennosti funktsionirovaniya kolennogo sustava. *Mediko-biologicheskie problemy sporta*. M.: FiS, 2017. – 24s. In Russian
3. Akhmetdinova EKh, Vagapova V. Fibroarkhitektonika mest fiksatsii svyazok nadkolennika u plodov i novorozhdennykh detey. *Meditsinsky vestnik Bashkortostana*. 2015;10 (1):65-68. In Russian
4. Bobrik II, Minakov II. Atlas anatomii novorozhdenmogo. Kiev: Zdorov'e, 1990. – 168с. In Russian
5. Vagapova VSh, Rybalko DYU, Samokhodova OV. Gistotopografiya i prochnostnye svoystva meniskov kolennogo sustava cheloveka. *Meditsinsky vestnik Bashkortostana*. 2007;2(3-4):96-100. In Russian
6. Vagapova V., Rybalko DYU. Funktsional'naya morfologiya elementov kolennogo sustava. Ufa: Gilem - Bashkirskaya entsiklopediya, 2015. - 182s. In Russian
7. Gafarov KhZ. Mekhanizmy torsii pri razviti segmentov nizhnikh konechnostey, *Ortopediya i travmatologiya i protezirovanie*. 1981;9:5-6. In Russian
8. Dil'mukhametova LM, Borzilova OKh. Stroenie perekhodnoy zony sinovial'noy membrany kolennogo sustava u plodov, detey i podrostkov. *Morfologiya*. 2016;149(3):76. In Russian
9. Rybalko DYU, Vagapova VSh, Samokhodova OV. Mikroskopicheskoe stroenie meniskov kolennogo sustava cheloveka v postnatal'nom ontogeneze. *Uchenye zapiski SPbGMU im. akad. I.P. Pavlova*. 2011;18(20):134-135. In Russian
10. Andrish J. The biomechanics of patella-femoral stability. *J Knee Surg*. 2004;17(1):35-39
11. Kiselevskiy YuM, Ivantsov AV. Strukturno-funktsional'nye osobennosti kolennogo sustava. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2008;(1):109. In Russian
12. Strizhkov AE, Vagapova VSh. Matematicheskaya model' dlya opredeleniya vozrasta ploda po temno-pyatnochnoy i temno-kopchikovoy dlinam. *Vestnik nauchnykh issledovaniy*. 1995;(5):1-10. In Russian
13. Imanova VR, Pochueva NN, Rybalko DYU, Minigazimov RS. Tsoarkhitektonika nadkolennika u plodov. *Morfologiya*. 2019;(2):134. In Russian
14. Maeseneer MJ, Roy Van F. Three layers of the medial capsular and supporting structures of the knee MRImaging-anatomic correlation. *Radiographics*. 2000;20(Special No):583-589

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иманова Вилена Раисовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии человека, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; e-mail: v.r.imanova@mail.ru

The authors declare that they have no any conflicts of interests in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vilena R. Imanova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Human Anatomy, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; e-mail: v.r.imanova@mail.ru

Вагапова Василия Шарифьяновна, профессор, доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии человека, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; **e-mail: anatombsmu@bashgmu.ru**

Рыбалко Дмитрий Юрьевич, доцент, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры анатомии человека, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; **e-mail: rybalko_dy@mail.ru**

Меньшикова Зульфия Фаиковна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры терапии и сестринского дела с уходом за больными, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; **e-mail: vagapova.z77@mail.ru**

Почуева Наталья Николаевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии человека, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия; **e-mail: pochueva1975@bk.ru**

Vasilya Sh. Vagapova, Professor, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Human Anatomy, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; **e-mail: anatombsmu@bashgmu.ru**

Dmitry Yu. Rybalko, Docent, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Human Anatomy, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; **e-mail: rybalko_dy@mail.ru**

Zul'phiya F. Men'shikova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapy and Nursing with Patient Care, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; **e-mail: vagapova.z77@mail.ru**

Natal'ya N. Pochueva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Human Anatomy, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia; **e-mail: pochueva1975@bk.ru**