

DOI

УДК:636.7/9:611.7

## **АДАПТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЯЗОЧНОГО АППАРАТА КОЛЕННОГО СУСТАВА У ЛИСИЦ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

**Слесаренко Наталья Анатольевна**, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой «Анатомия и гистология животных им. профессора А. Ф. Климова», ФГБОУ ВО Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К. И. Скрябина.

109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23.

E-mail: slesarenko2009@yandex.ru

**Широкова Елена Олеговна**, канд. биол. наук, доцент кафедры «Анатомия и гистология животных им. профессора А. Ф. Климова», ФГБОУ ВО Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К. И. Скрябина.

109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23.

E-mail: shirokova.alenavet@yandex.ru

**Ключевые слова:** лисица, звероводство, сустав, связки, аппарат, нагрузка.

*Цель исследований – выявить комплекс структурных перестроек связочного аппарата коленного сустава у лисиц для обеспечения его высоких биомеханических потенций. Перспективный подход к изучению адаптивно-компенсаторных перестроек сустава как мультикомпонентной биомеханической системы – оценка структурных преобразований его связочного аппарата в условиях измененной функциональной нагрузки. Исследования выполнены на базе кафедры анатомии и гистологии животных им. профессора А. Ф. Климова ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина» и на базе ОАО «Племенной зверосовхоз «Салтыковский». Представлены сведения о морфологических преобразованиях боковых связок коленного сустава, определяющих его латеро-медиальную стабильность. Отражен комплекс структурных перестроек связочного аппарата у лисиц при клеточном разведении, которые выражаются в уменьшении, по сравнению с эталоном строения (у диких особей), толщины пучков коллагеновых волокон и их композиционной плотности. Показаны морфологические преобразования, способные существенно снижать прочностные и упруго-деформативные параметры связочного аппарата и биомеханический потенциал сустава. Объекты исследований – 23 особи лисицы, из них 15 особей клеточного режима содержания и 8 представителей естественной среды обитания. В исследовании использован комплексный методический подход, включающий анатомическое препарирование, световую микроскопию гистологических срезов, сканирующую электронную микроскопию, микроморфометрию и статистический анализ полученных цифровых данных. По результатам исследования выявлено, что у особей из природного биоценоза коллагеновые конструкции боковых связок отличаются более выраженной волнистостью и плотностью упаковки, чем у аналогов лисиц клеточного содержания, что может способствовать обеспечению их биомеханического совершенства.*

## **ADAPTIVE TRANSFORMATIONS OF A FOX'S KNEE JOINT LIGAMENTS UNDER CHANGED FUNCTIONAL CONDITIONS**

**N. A. Slesarenko**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department «Animal Anatomy and Histology named after Professor A. F. Klimov», FSBEI HE Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Scryabin.

109472, Moscow, Academician Scryabin street, 23.

E-mail: slesarenko2009@yandex.ru

**E. O. Shirokova**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department «Animal Anatomy and Histology named after Professor A. F. Klimov», FSBEI HE Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scryabin.

109472, Moscow, Academician Scryabin street, 23.

E-mail: shirokova.alenavet@yandex.ru

**Key words:** fox, animal husbandry, joint, ligaments, apparatus, load.

The aim of the research is identification of complex structural changes of the fox's knee joint ligaments to ensure its high biomechanical potencies. A promising approach for the study of adaptive and compensatory changes of the joint as a multicomponent biomechanical system is to evaluate the structural transformations of its ligaments under conditions of a new functional load. The research was carried out on the basis of the Department of Animal Anatomy and Histology named after Professor A. F. Klimov «Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K. I. Scryabin» and on the basis of JSC «Breeding animal farm «Saltykovsky». The article presents information about morphological transformations of the lateral and median ligaments of the knee joint that determine its reliable stability. Numerous structural changes of the fox ligaments during cage housing is reflected, which decrease in the thickness of bundles of collagen fibers and their compositional density compared to the standard structure (in wild individuals). Morphological transformations that can significantly reduce the strength and elasticity resistance of the ligaments and the biomechanical potential of the joint are shown. 23 fox individuals, including 15 individuals of the cage housing and 8 representatives of the natural habitat were studied. The research used a comprehensive methodological approach, including anatomical preparation, light microscopy of histological sections, scanning electron microscopy, micromorphometry and statistical analysis of the obtained digital data. According to the results of the study, it was found that fox individuals from natural biocenosis, have collagen structures of the lateral ligaments different in waving and packing density from ones of cage housing, which can contribute to ensuring their biomechanical domination.

Выяснение закономерностей структурной организации и адаптации органов локомоции к измененным условиям функциональной нагрузки до настоящего времени остается одной из актуальных проблем ветеринарной морфологии и промышленного звероводства. Это обусловлено тем, что длительное пребывание пушных зверей в условиях, радикально отличающихся от естественных, привело к ослаблению морфофизиологической конституции, снижению резистентности, адаптивного потенциала и продуктивных качеств животных. Последствия длительной гипокинезии оказывают негативное системное влияние на метаболические процессы в организме животных и сопровождаются функциональными нарушениями костно-суставной системы, в первую очередь суставов большой подвижности [1, 2, 3, 4].

Одним из перспективных подходов к изучению адаптивно-компенсаторных перестроек сустава как мультикомпонентной биомеханической системы является оценка структурных преобразований его связочного аппарата в условиях измененной функциональной нагрузки.

Представлены сведения о морфологических преобразованиях боковых связок коленного сустава, определяющих его латеро-медиальную стабильность, у лисицы, пребывающей в условиях ограниченной подвижности (антропогенно смоделированный клеточный режим содержания).

В качестве морфологического контроля были избраны лисицы аналогичного возраста, обитающие в природном биоценозе.

**Цель исследований** – выявить комплекс структурных перестроек связочного аппарата коленного сустава у лисиц для обеспечения его высоких биомеханических потенций.

**Задачи исследований** – установить общие закономерности морфологической организации связочного аппарата коленного сустава у лисиц клеточного режима содержания и из природного биоценоза; выявить морфофункциональные изменения связочного аппарата сустава у лисиц клеточного режима содержания, обусловленные влиянием длительного ограничения подвижности.

**Материал и методы исследований.** Исследования выполнены на базе кафедры анатомии и гистологии животных им. профессора А. Ф. Климова ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина» и на базе ОАО «Племенной зверосовхоз «Салтыковский». Объекты исследований – 23 особи лисицы, из них 15 особей клеточного режима содержания и 8 представителей из естественной среды обитания, избранные в качестве эталона строения сочленения. В экспериментальных исследованиях использовали животных обоих полов в возрастном диапазоне от 1 года до 3 лет.

При изучении структурно-функциональных особенностей коленного сустава применяли комплексный методический подход, включающий тонкое анатомическое препарирование, световую

микроскопию гистологических срезов, сканирующую электронную микроскопию, микроморфометрию и статистический анализ полученных цифровых данных.

**Результаты исследований.** Установлены общие закономерности структурной организации боковых связок коленного сустава у лисицы независимо от условий обитания животных.

Выявлено, что по своему структурному оформлению боковые связки, являющиеся фиксирующими элементами сустава, соответствуют плотной оформленной соединительной ткани, что подтверждается преобладанием в их составе волокнистого компонента над аморфным веществом и клеточными элементами (рис. 1, 2).

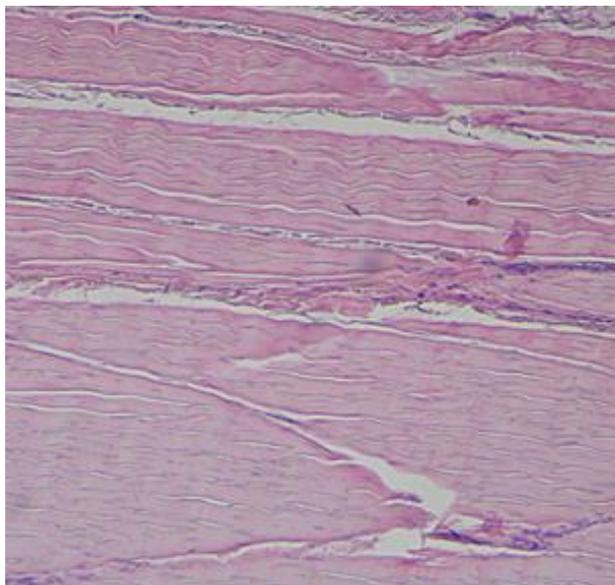


Рис. 1. Микроархитектоника медиальной коллатеральной связки у лисицы. Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

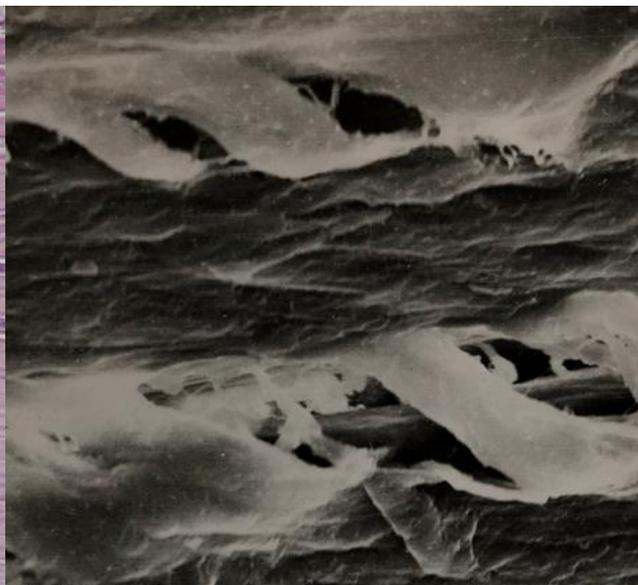


Рис. 2. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки. СЭМ-изображение, x1000

Клеточная популяция представлена в основном фиброцитами, расположенными между пучками коллагеновых волокон.

Распределение биомеханической нагрузки, испытываемой связками, приводит к максимальному развитию в них коллагеновых конструкций, обеспечивающих высокие прочностные характеристики связок. Волокнистый компонент формирует пучки различного порядка, имеющие векторную ориентацию.

Особенности биомеханики коленного сустава, выражающиеся в неравномерном распределении нагрузки на его латеральный и медиальный отдел, детерминировали топические и композиционные особенности связочного аппарата.

При сравнительном изучении боковых связок латерального и медиального отделов сустава выявлены их микроморфологические различия. Так, в составе медиальной связки, в сравнении с латеральной, выявлено преобладание волокон с волнистым ходом, которые значительно плотнее упакованы в пучки 1, 2, 3 порядков (рис. 3, 4).

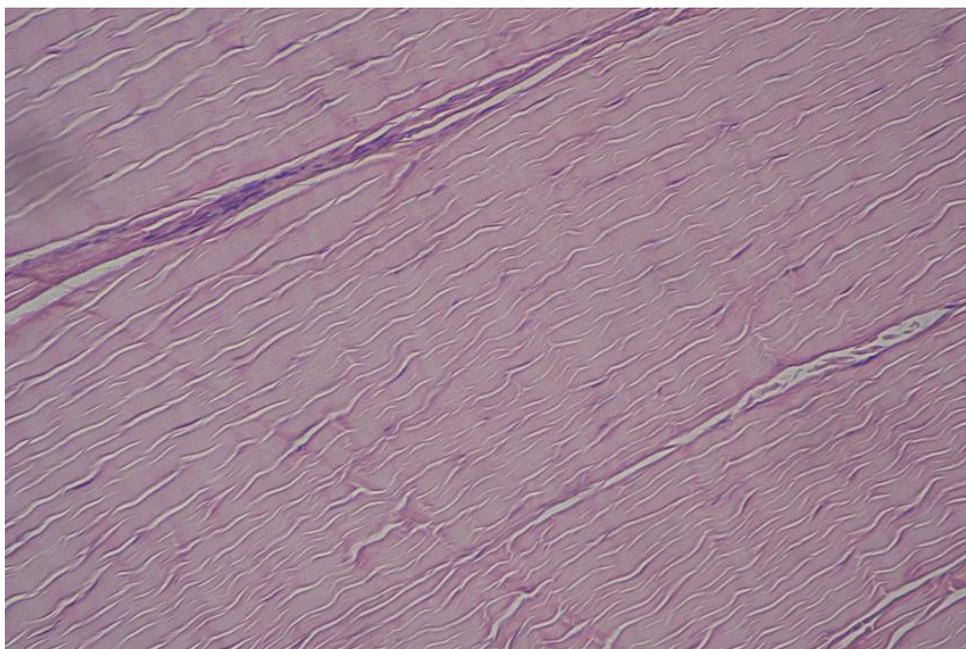


Рис. 3. Микроархитектоника медиальной коллатеральной связки у лисицы.  
Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

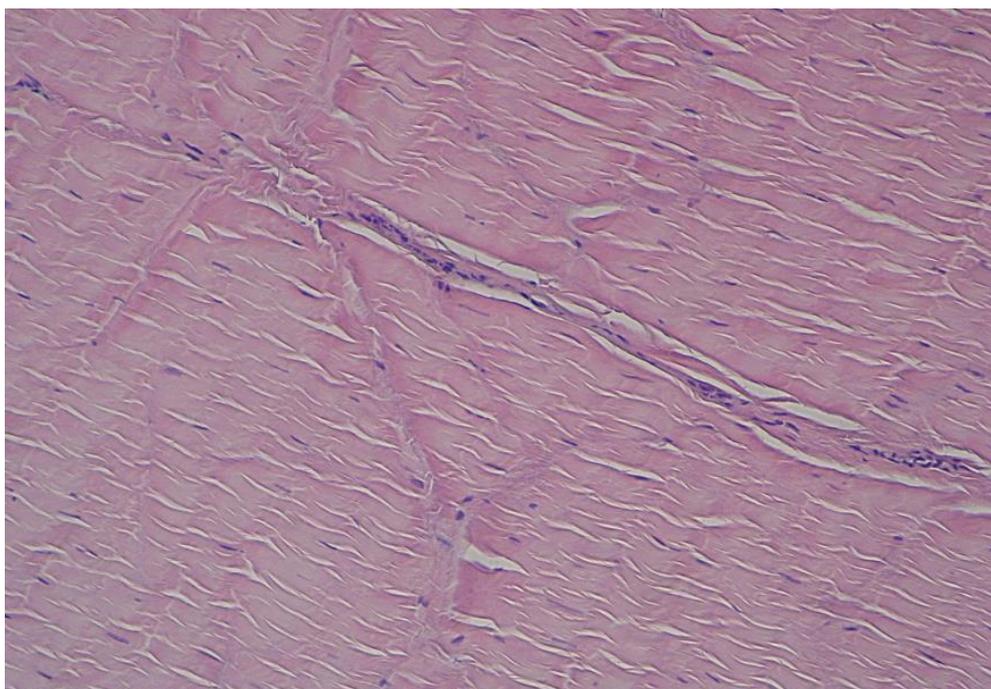


Рис. 4. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки у лисицы.  
Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

В боковых частях связок, в области контакта с суставной капсулой, наблюдается консолидация перитенона связки с плотной и рыхлой соединительной, а также жировой тканями капсулы сустава (рис. 5, 6). Здесь в поверхностных слоях связки наблюдаются более толстые прослойки эндо- и перитенона. При изучении пространственной архитектоники боковых связок коленного сустава у лисиц выявлено, что пучки коллагеновых волокон в них характеризуется волнистостью хода и наличием множества переплетающихся коммуникаций – «связующих мостов», существенно укрепляющих конструкцию (рис. 5, 6).

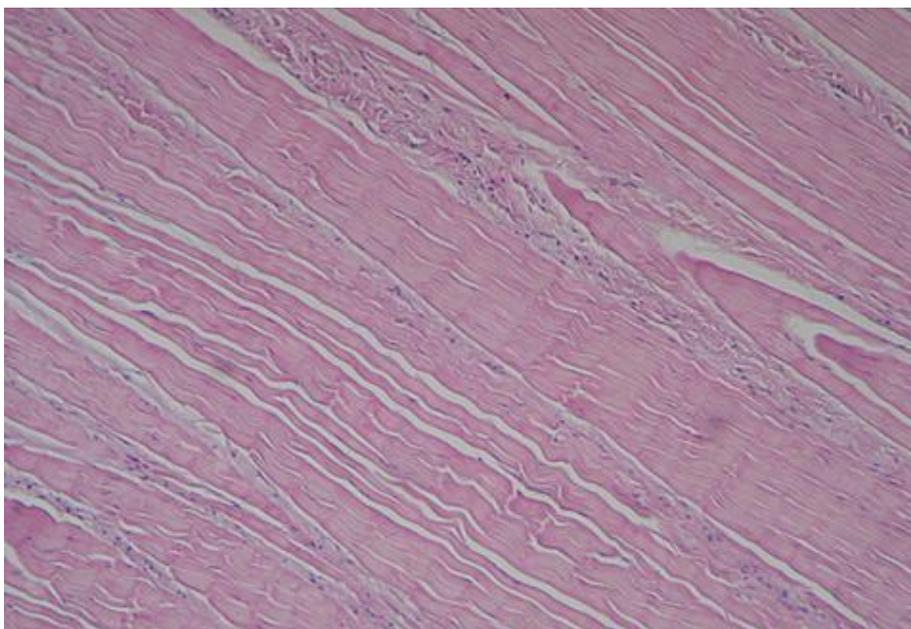


Рис. 5. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки у лисицы.  
Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

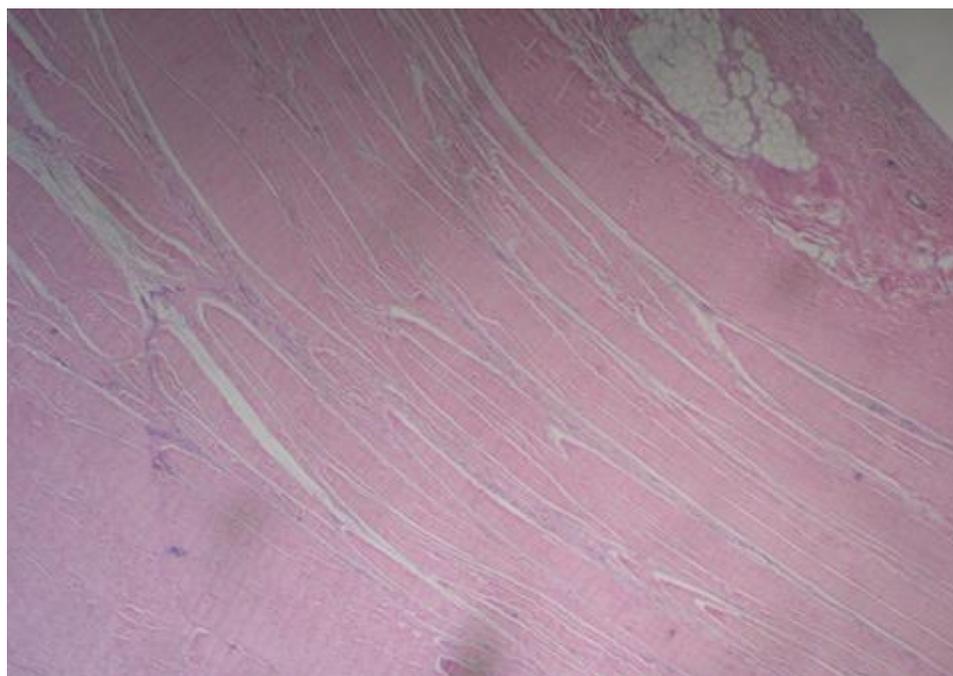


Рис. 6. Микроархитектоника медиальной коллатеральной связки у лисицы.  
Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

На основании сравнительного анализа полученных данных установлено, что пучки коллагеновых волокон боковых связок у лисиц из природного биоценоза, по сравнению с животными клеточного режима содержания, отличаются более выраженной волнистостью и большей плотностью упаковки, что, по мнению авторов, может обеспечивать их высокие биомеханические потенции и прежде всего упруго-эластические свойства в условиях физиологического нагружения (рис. 7, 8).

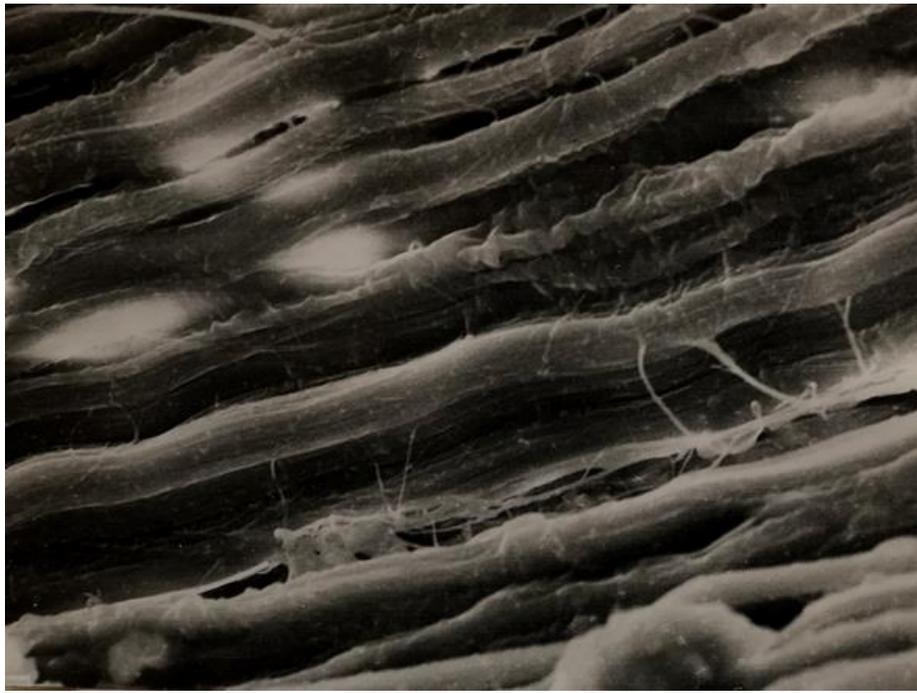


Рис. 7. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки с выраженным волнистым ходом. СЭМ-изображение, x1000

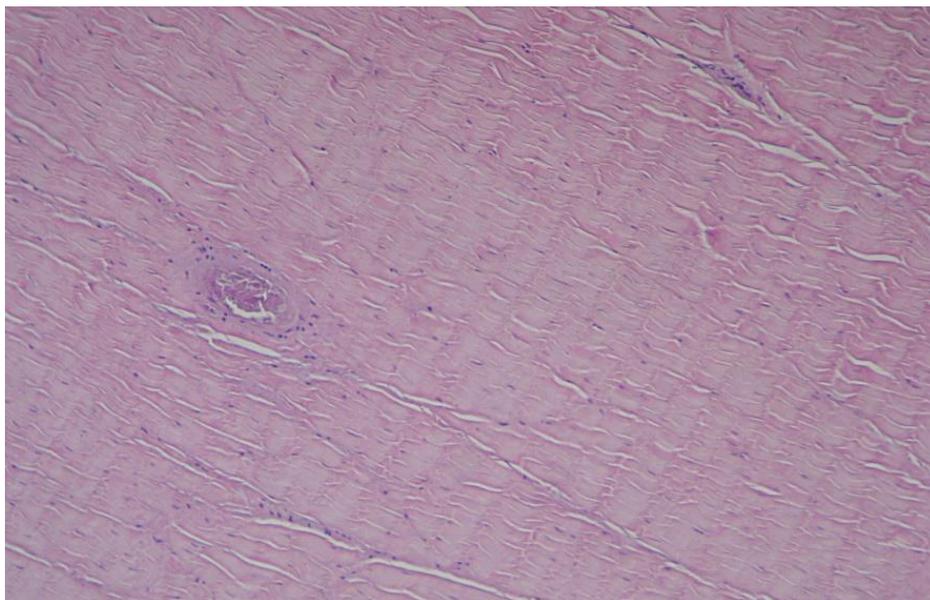


Рис. 8. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки у лисицы из природного биоценоза. Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

Обращает на себя внимание то, что у лисиц из природных условий обитания коллатеральные связки отличаются более плотным расположением пучков коллагеновых волокон, меньшей толщиной прослоек эндотенона и перитенона, в то время как у лисиц клеточного содержания наблюдается снижение, по сравнению с дикими лисицами, композиционной плотности волокнистых структур боковых связок, уменьшение волнистости их хода и увеличение толщины соединительнотканного остова (рис. 9, 10).

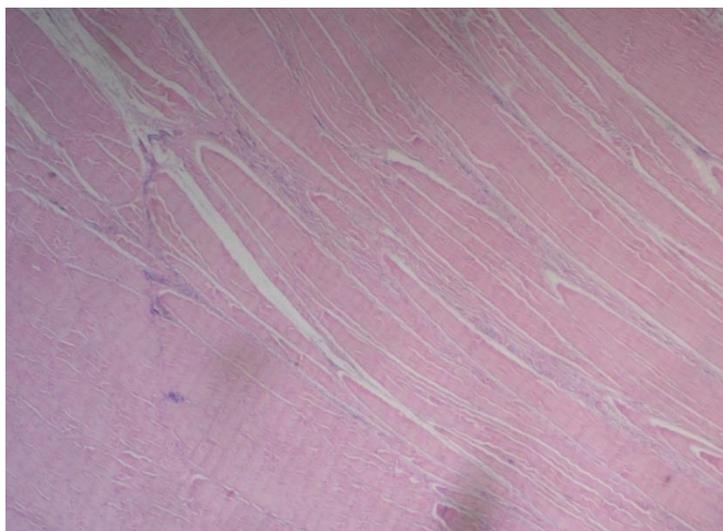


Рис. 9. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки у лисицы клеточного режима содержания. Гематоксилин и эозин, об. 20, ок. 10

По показателям толщины пучки коллагеновых волокон у лисиц клеточного режима содержания уступают таковым у особей из природного биоценоза (табл. 1).

Таблица 1

Морфометрические характеристики боковых связок коленного сустава

Вид животного	Толщина пучков, мкм	
Лисица из природного биоценоза (n =7)	Медиальная связка 15,9 ±1,3	Латеральная связка 15,6 ±1,2
Лисица клеточного режима содержания (n=17)	Медиальная связка 10,1±1,2	Латеральная связка 9,7 ±1,5

Примечание. Различия между сравниваемыми величинами достоверны ( $P \leq 0,05$ ).



Рис. 10. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки у лисицы из природного биоценоза. СЭМ-изображение, x750

При анализе данных сканирующей электронной микроскопии установлено, что у лисиц из природных популяций коллагеновые пучки боковых связок более мощные и плотно упакованы, в то время как у особей клеточного режима содержания они характеризуются увеличением межпучковых пространств, в отдельных случаях прослеживается структурная декомпозиция (рис. 11, 12, 13, 14).

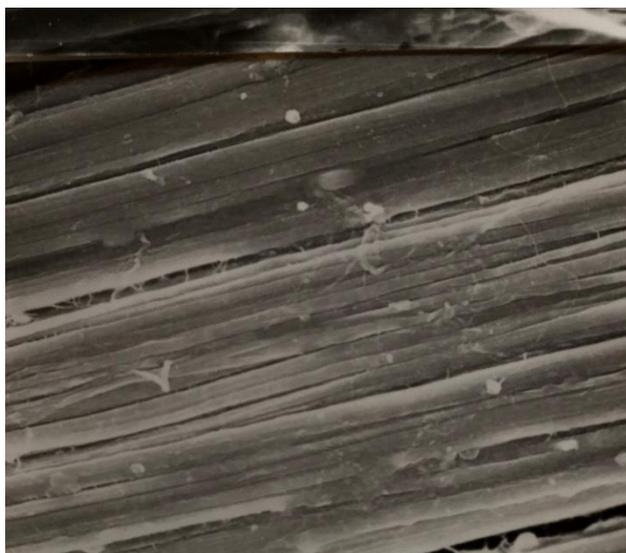


Рис. 11. Микроархитектоника латеральной коллатеральной связки у лисицы клеточного режима содержания. СЭМ-изображение, x750

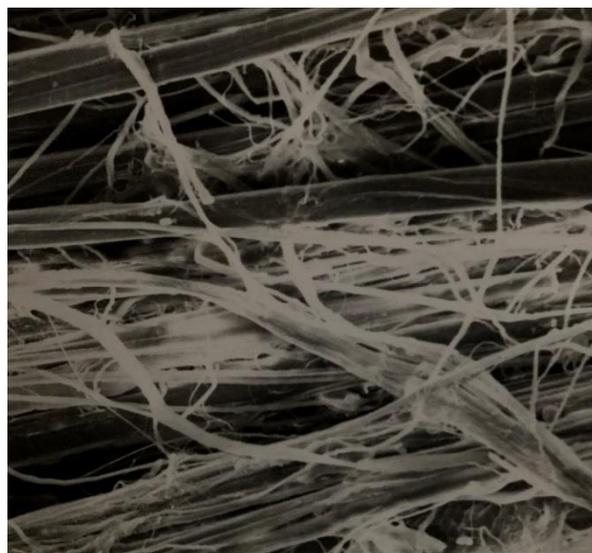


Рис. 12. Пространственная организация пучков коллагеновых волокон латеральной коллатеральной связки у лисы клеточного содержания. Участок с дезорганизацией волокнистых конструкций. СЭМ-изображение, x200



Рис. 13. Пространственная организация пучков коллагеновых волокон медиальной коллатеральной связки у лисицы клеточного содержания. СЭМ-изображение, x1000

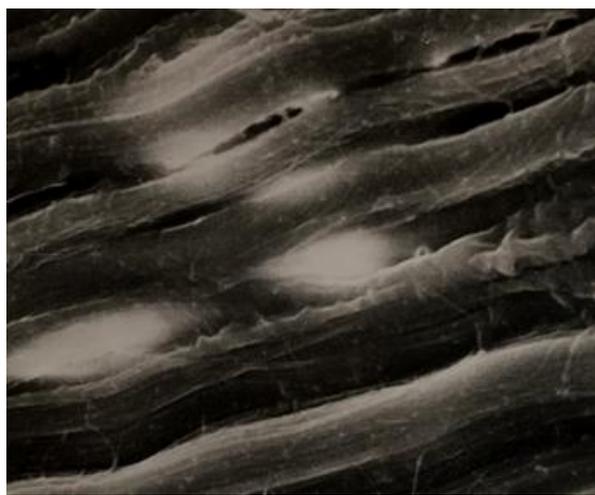


Рис. 14. Пространственная организация пучков коллагеновых волокон медиальной коллатеральной связки у лисицы из природного биоценоза. СЭМ -изображение, x1000

**Заключение.** Установлены как общие закономерности морфологической организации боковых связок коленного сустава у лисиц, так и микроморфологические различия, которые выражаются в преобладании в медиальной коллатеральной связке волокон с волнистым ходом, которые значительно плотнее упакованы в пучки 1, 2, 3 порядка, что может свидетельствовать о ее биомеханическом совершенстве в сравнении с латеральной. На основании анализа данных световой и сканирующей электронной микроскопии выявлен комплекс структурных перестроек коллатеральных связок у лисиц при клеточном разведении, которые выражаются в уменьшении, по сравнению с эталоном строения (дикими особями), толщины пучков коллагеновых волокон и их композиционной плотности, приобретении более прямолинейного хода и локальной декомпозиции.

#### Библиографический список

1. Слесаренко, Н. А. Морфофункциональная характеристика фиксирующего аппарата коленного сустава у собак в постнатальном онтогенезе / Н. А. Слесаренко, Е. О. Широкова // *Морфология*. – 2010. – Т. 137, № 4. – С. 174-175.
2. Слесаренко, Н. А. Морфофункциональные особенности коленного сустава у собак / Н. А. Слесаренко, А. И. Торба // *Актуальные проблемы ветеринарной хирургии : материалы международной научно-практической конференции*. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. К. Д. Глинки, 1997. – С. 116.
3. Сустав. Морфология, клиника, диагностика, лечение / Под. ред. В. Н. Павловой, Г. Г. Павлова, Н. А. Шостак, Л. И. Слуцкого. – М. : Медицинское информационное агентство, 2011. – 552 с.
4. Торба, А. И. Морфофункциональная характеристика компонентов коленного сустава у собак в норме и в условиях хирургической коррекции повреждений связочного аппарата (экспериментально-морфологическое исследование) : дис. ... канд. биол. наук : 16.00.02 ; 16.00.05 / Торба Александр Иванович. – М. : МГАВМиБ, 2003. – 280 с.
5. Тарек, О. М. Морфофункциональная характеристика компонентов коленного сустава у лисицы в условиях промышленного звероводства : дис. ... канд. биол. наук : 16.00.02 / Тарек Омар Мохамед Эль-Махди. – М. : Московская ветеринарная академия им. К. И. Скрябина, 1991. – 286 с.

#### References

1. Slesarenko, N. A., & Shirokova, E. O. (2010). Morfofunkcionalinaia harakteristika fiksiruiushchego prirodnoogo apparata kolennogo sustava u sobak v postnatalinom ontogeneze [Morphological and functional characteristics of the fixation apparatus of the dog knee joint in postnatal ontogenesis]. *Morfologiya* – *Morphology*, 137, 4, 174-175 [in Russian].
2. Slesarenko, N. A., & Torba, A. I. (1997). Morfofunkcionalnie osobennosti kolennogo sustava u sobak [Morphofunctional features of the dog knee joint]. *Actual problems of veterinary surgery '97: materiali mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii – materials of the international scientific and practical conference*. (P. 116). Voronezh [in Russian].
3. Pavlova, B. N., Pavlov, G. G., Shostak, N. A., & Slutsky, L. I. (Eds.). (2011). Sustav. Morfologiya, klinika, diagnostika, lechenie [Joint. Morphology, clinic, diagnosis, treatment]. Moscow: Medical information is characterized by a relief Agency [in Russian].
4. Torba, A. I. (2003). Morfofunkcionalinaia harakteristika komponentov kolennogo sustava u sobak v norme i v usloviiah hirurgicheskoi korrekcii povrezhdeni i sviazochnogo apparata (eksperimentalino-morfologicheskoe issledovanie) [Morphological and functional characteristics of the components of the dog knee joint are normal and under conditions of surgical repair of damage to the ligaments. (experimental-morphological study)]. Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology [in Russian].
5. Tarek, O. M. (1991). Morfofunkcionalinaia harakteristika komponentov kolennogo sustava u lisici v usloviiah promishlennogo zverovodstva [Morphological and functional characteristics of the components of the fox knee joint in industrial fur farming]. *Candidate's thesis*. Moscow: Moscow Veterinary Academy named after K. I. Skryabin [in Russian].