

УДК: 619:591.81:577.21:636.2:001.608.1
DOI:10.52419/ISSN2072-2419.2025.4.411

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ КОРОВ В РАЗНЫЕ ВОЗРАСТНЫЕ ПЕРИОДЫ

Шкуратова И.А.* – член-корреспондент РАН, д-р ветеринар. наук, проф., гл. науч. сотр. отдела экологии и незаразной патологии животных (ORCID 0000-0003-0025-3545); **Дроздова Л.И.** – д-р ветеринар. наук, проф., вед. науч. сотр. отдела экологии и незаразной патологии животных (ORCID 0000-0001-9689-1781); **Петрова И.М.** – лаборант отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0002-4358-5219); **Хацко С.Л.** – лаборант отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0001-5921-6680); **Соколова О.В.** – д-р ветеринар. наук, вед. науч. сотр. отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0002-1169-4090); **Быгов М.В.** – мл. науч. сотр. отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0002-3622-3770)

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук»

*shkuratova@bk.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, возрастные изменения, паренхиматозные органы, клеточное старение, изменения сосудистого русла.

Key words: cattle, gerontogenesis, age-related changes, parenchymatous organs, cellular aging, changes in the vascular bed.

Финансирование: Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-16-00117 «Пространственная характеристика транскриптомных и метаболомных особенностей преждевременной структурно-функциональной дегенерации тканей органов сельскохозяйственных животных и птицы».

Соблюдение этических стандартов: Проведение исследований было одобрено Комитетом по институциональной этике ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (протокол № 2 от 10.07.2025 г.)

Конфликт интересов: авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Поступила: 15.06.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025



РЕФЕРАТ

В научной литературе представлено недостаточно данных о развитии возрастных структурно-функциональных изменений, происходящих в организме крупного рогатого скота. Изучение возрастных патоморфологических изменений, происходящих в организме крупного рогатого скота, позволит определить маркеры преждевременного старения органов и поможет разработать стратегию и тактику увеличения продуктивного долголетия коров. Цель исследования – изучить особенности структурно-функциональных изменений внутренних органов у половозрелого

крупного рогатого скота в возрастном аспекте. Материал получали на бойне от телки и выбракованных высокопродуктивных коров трех-, четырех-, пяти-, шести- и девятилетнего возраста. Для гистологических исследований отбирали кусочки органов, которые фиксировали в 10 % забуференном нейтральном формалине. Депарафинизированные срезы толщиной 3–4 мкм окрашивали красителями для гистологического исследования. Установлено, что структурно-дегенеративные изменения тканей органов начинают развиваться уже в трехлетнем возрасте, то есть после первого отела. В первую очередь, изменения затрагивают сердечно-сосудистую систему, на которую приходится максимальная нагрузка, вызванная лактацией. С увеличением возраста процессы структурно-функциональной дегенерации тканей нарастают: в сердечной мышце усиливается разрастание соединительной ткани, в печени наряду с жировой дистрофией, развиваются фиброзные изменения, в селезенке обнаруживается значительное отложение гемосидерина, что свидетельствует о преждевременной сенесценции клеток. В гистологических препаратах сердца коров 5–8-летнего возраста выявлен некроз волокон Пуркинью, что свидетельствует о нарушении проводящей системы сердца вследствие тяжелых дистрофических процессов. Для паренхиматозных органов характерны изменения сосудистого русла и активная коллагенизация стромы органов. Таким образом, клеточное старение, имеет схожие морфологические изменения и оказывает серьезное воздействие на тканевые структуры.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Геронтогенез или старение организма – общебиологический процесс, характеризующийся комплексом необратимых дегенеративных изменений органов и тканей, приводящий к нарушению структуры и функции внутренних органов. Скорость старения животных связана с такими факторами, как размер, плодовитость, интенсивность метаболизма и другие. Василевич Н. И. [1] сообщает, что для объяснения феномена старения предложено несколько теорий, которые отчасти противоречат, а отчасти дополняют друг друга. Их можно условно разделить на два больших класса: старение как процесс, запрограммированный в генах организма, и старение как изнашивание организма в отсутствие какой-либо программы. В настоящее время наиболее признанными теориями старения являются генетическая и свободно-радикальная [2]. М. Wnuk с соавт. [3] определяют процесс старения как переменное, стохастическое и плейотропное явление, которое регулируется различными экологическими и генетическими факторами.

Триггерами клеточного старения могут быть наличие активных форм кислорода, укорочение теломер, дисфункция митохондрий. Стареющие клетки обычно имеют увеличенный размер и уплощен-

ную форму по сравнению с делящимися. Часто сенесцентные клетки характеризуются выраженной вакуолизацией и иногда многоядерностью. Кроме того, наблюдается нарушение целостности ядерной оболочки [4].

В научной литературе представлено мало данных о развитии возрастных структурно-функциональных изменений, происходящих в организме крупного рогатого скота. Учитывая, что современная селекция направлена в основном на повышение молочной продуктивности, что, как правило, связано с метаболическим дисбалансом, необходимо выявлять критические патофизиологические процессы и морфофункциональные изменения, ведущие к преждевременной структурно-функциональной дегенерации тканей органов высокопродуктивных коров, что приводит к ранней выбраковке животных и сокращению сроков их продуктивного долголетия. Перевод молочного животноводства на промышленные технологии, также обуславливает сокращение продуктивной жизни коров до критических величин. Ценные племенные животные выбывают из стада, не окупая затраты на их выращивание [5, 6]. Удлинение сроков продуктивного использования коров – одна из актуальных задач при разведении крупного рогатого скота молочного

направления. В. А. Бекеневым [7] проведен подробный анализ работ по изучению влияния различных генотипических и паратипических факторов на продолжительность жизни и продуктивное долголетие, а также анализ исследований по прогнозированию и поиску современных способов их продления у сельскохозяйственных животных. Уменьшение продолжительности хозяйственного использования животных приводит к задержке прогресса в молочном скотоводстве, так как за короткий срок невозможно полностью реализовать производственно-экономический потенциал [8]. Мырзин В. С. с соавторами [9] считает, что резкое нарастание в молочных стадах инбридинга при увеличении молочной продуктивности, является важной причиной сокращения продуктивной жизни коров, что приводит к снижению экономической эффективности отрасли. По данным J. R. Wright с соавторами [10] продолжительность использования коров в США, равна 2,8 лактации. В Уральском регионе средняя продолжительность хозяйственного использования коров в стаде составляет 2,7 лактации [11].

Анализ данных литературы свидетельствует о том, что исследования, связанные с изучением возрастных изменений в организме, достаточно широко проводятся в гуманитарной медицине [12–14], но в ветеринарной медицине сельскохозяйственных животных такие данные ограничены. В связи с этим, изучение патоморфологических изменений, происходящих у крупного рогатого скота разного возраста, позволит определить маркеры преждевременного старения организма и поможет разработать стратегию и тактику увеличения продуктивного долголетия молочных коров.

Цель исследования – изучить особенности структурно-функциональных изменений внутренних органов у половозрелого крупного рогатого скота в возрастном аспекте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Материал получали на бойне от телки

и выбракованных коров с продуктивностью 8000–10500 кг молока за лактацию трех-, четырех-, пяти-, шести- и девяти-летнего возраста. Все животные были выбракованы по причинам травм и низкой продуктивности (менее 6000 кг молока за лактацию), животные содержались в хозяйствах благополучных по инфекционным заболеваниям. Для гистологических исследований отбирали кусочки сердца, печени, почек, селезенки, двенадцатиперстной кишки, поджелудочной железы. Кусочки органов толщиной не более 0,5 см фиксировали 10 % забуференным нейтральным формалином в соотношении 1:20 (по 3 образца каждой ткани). Образцы тканей для морфологического исследования после фиксации промывали в проточной воде, обезживали, затем пропитывали парафином и готовили парафиновые блоки. Изготавливали парафиновые срезы толщиной 3–4 мкм. Срезы депарафинизировали и окрашивали красителями для гистологического исследования.

Для проведения оценки общей морфологической картины и описания обзорных изменений была использована окраска гематоксилином и эозином. Для выявления чрезмерного разрастания соединительной ткани в местах разрушения паренхимы органа или его метаплазии использовали окрашивание по Маллори. PAS-Реакция проводилась для обнаружения накопления кислых мукополисахаридов. Для выявления железа в составе гемосидерина, свидетельствующего об усиленном распаде эритроцитов, проводили окрашивание срезов с помощью реакции Перлса (реакция берлинской лазури). Окрашивание ГОФП (гематоксилин – основной фуксин – пикриновая кислота) использовали для выявления поврежденного миокарда. Морфологическая картина ишемических повреждений при окраске ГОФП заключается в окрашивании основным фуксином саркоплазмы ишемизированных кардиомиоцитов в темно-красный цвет, в отличие от интактных участков желто-коричневого цвета.

Проведено гистохимическое исследо-

вание тканей почек и двенадцатиперстной кишки коровы шестилетнего возраста с целью выявления в тканях одного из маркеров сенесцентных клеток – β -галактозидазы по следующему протоколу:

Образцы тканей в объеме не превышающие 1 см³ фиксировали в сахарозе, растворенной в PBS буфере (повышающий градиент сахарозы в PBS от 10 % до 30 %.);

С помощью криотома изготавливали замороженные срезы толщиной 20–30 мкм;

Срезы помещали на стекла с покрытием *superfrost* и обводили гидрофобным карандашом;

Проводили окрашивание срезов раствором β -галактозидазы («Aging Cell β -galactosidase Staining Kit», Servicebio, Китай) в соответствии с рекомендациями производителя;

Срезы дважды промывали в буфере TBST с pH=6, затем в дистиллированной воде;

Проводили докраску ядер с помощью 1 % водного квасцового кармина;

Срезы дегидратировали, просветляли, заключали под покровные стекла.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

С целью изучения влияния лактационной нагрузки на морфофункциональное состояние внутренних органов были взяты их кусочки от телок и коров, начиная с трехлетнего возраста (первая лактация) до 9-летнего возраста (пятая лактация).

У телки двухлетнего возраста морфологический анализ тканей сердца выявил картину развивающегося миокардита: разрастание соединительной ткани, полиморфноклеточная инфильтрация между мышечными волокнами, неравномерная их окраска (см. рисунок 1.1). В печени изменения начинают затрагивать паренхиму: отмечается жировая дистрофия гепатоцитов (см. рисунок 1.2). Усиление рисунка ретикулярных структур и разрастание капсулы селезенки свидетельствует об ее индурации, а пролиферация элементов сосудистой стенки – о возрастных изменениях микроциркуляторного русла (см. рисунок 1.3). В двенадцатиперстной

кишке наблюдается утолщение ворсинок и атрофия железистого аппарата, а также полиморфноклеточная инфильтрация. В почках отмечается нарушение микроциркуляторного русла, а также дистрофические процессы в паренхиме органа в виде уплотнения капиллярной сети клубочка, увеличения мочевого пространства и формирования кистозных полостей (см. рисунок 1.4).

В организме коров трех- и четырехлетнего возраста начинают активно развиваться процессы структурно-функциональной деградации тканей. Наблюдается усиленная коллагенизация стромы паренхиматозных органов и глубокие изменения со стороны микроциркуляторного русла. Так, в сердечной мышце наряду с ишемическими изменениями миокарда, обнаружено значительное разрастание соединительной ткани (см. рисунки 2.1, 2.2). По всей паренхиме печени видны фиброзные изменения, свидетельствующие о цирротическом процессе. Это подтверждается и изменениями микроциркуляторного русла: наличием очагов кровоизлияний, связанных с повышением проницаемости сосудистых мембран, накоплением в стенке сосудов кислых мукополисахаридов, огрубением и утолщением сосудистой стенки вплоть до обтурации просвета кровеносных сосудов. Наблюдается некроз и жировая дистрофия гепатоцитов (см. рисунок 2.3). Ретикулярная строма селезенки также претерпевает процессы коллагенизации, что хорошо просматривается как в капсуле, так и трабекулах. В красной пульпе отмечено значительное отложение гемосидерина и липофусцина, что свидетельствует о значительном разрушении эритроцитов и преждевременном старении организма (см. рисунок 2.4). В двенадцатиперстной кишке наряду с выраженным воспалительным процессом, проявляющимся в разрастании соединительной ткани, наличии лимфоидноклеточной инфильтрации, гиперсекреции желез, имеет место нарушение проницаемости сосудов в виде диапедеза эритроцитов и отложения гемосидерина (см. рисунок 2.5). В почках

процессы дегенеративного характера проявляются в развитии интракапиллярного гломерулонефрита и выраженной белко-

вой дистрофии эпителия извитых канальцев (см. рисунок 2.6).

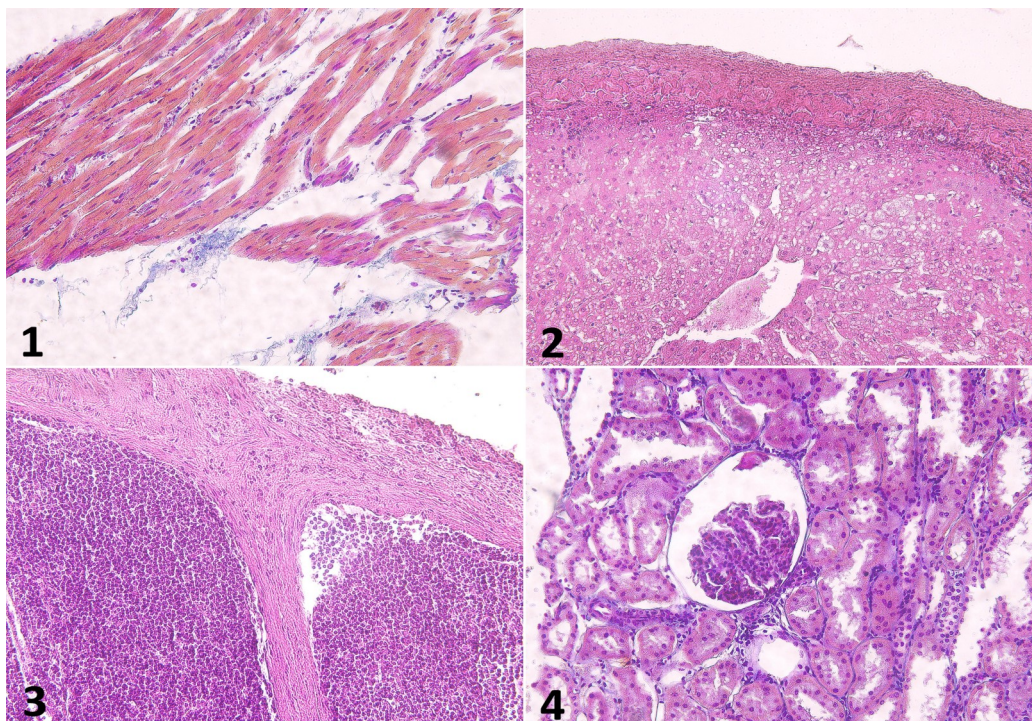


Рисунок 1 – Комплекс морфологических изменений в тканях органов телки в возрасте 2 лет: 1 – Развитие миокардита: полиморфноклеточная инфильтрация, неравномерная окраска мышечных волокон, окрашивание по Маллори, ув. 200х; 2 – Утолщение капсулы печени и выраженная жировая дистрофия гепатоцитов, окрашивание гематоксилином и эозином, ув. 200х; 3 – Утолщение капсулы и огрубение трабекул селезенки, окрашивание гематоксилином и эозином, ув. 200х; 4 – Увеличение мочевого пространства, уплотнение капиллярной сети клубочка и лимфоидноклеточный инфильтрат между извитыми канальцами первого порядка, окрашивание по Маллори, ув. 200х.

У коров в возрасте 5, 6 и 9 лет установлены однотипные изменения в сердце в виде тяжелых дистрофических и некротических процессов – дезорганизация мышечных волокон и очаговый некроз кардиомиоцитов. У погибающих кардиомиоцитов отсутствуют ядра, выражена исчерченность, что является следствием импрегнации мышечных волокон ввиду нарушения обменных процессов. В проводящей системе также развивается некроз волокон Пуркинье, происходит

нарушение микроциркуляторного русла и коллагенизация соединительнотканых структур, а также полиморфноклеточная инфильтрация, свидетельствующая о развивающемся миокардите (см. рисунок 3.1). У некоторых животных в сердце обнаружены саркоцисты, расположенные в мышечных волокнах. Однако, описанные изменения нельзя полностью свести к паразитарной инвазии, поскольку у незараженных особей эти изменения также имели место, что говорит об ассоциации этих процессов с возрастом животных.

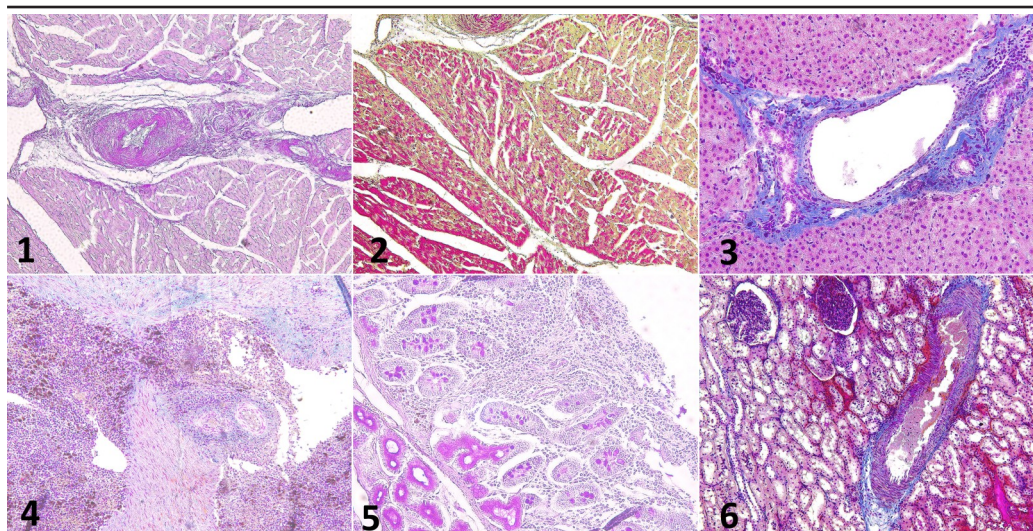


Рисунок 2 – Комплекс морфологических изменений в тканях органов коров в возрасте 3, 4 лет: 1 – Разрастание соединительнотканых структур, периваскулярный отек и утолщение стенок артерий сердца, окрашивание гематоксилином и эозином, ув. 100х; 2 – Мышечные волокна (красные) в состоянии ишемии, окрашивание ГОФП, ув. 100х; 3 – Разрастание соединительнотканых структур и нарушение кровообращения в системе междольковых сосудов, окрашивание по Маллори, ув. 200х; 4 – Процессы коллагенизации в трабекулах селезенки, дезорганизация стенки трабекулярных артерий, окрашивание по Маллори, ув. 100х; 5 – Участок с десквамацией эпителия в двенадцатиперстной кишке, PAS-реакция, ув. 200х; 6 – Участок периваскулярного разрастания соединительной ткани в корковом слое почки, окрашивание по Маллори, ув. 200х.

Морфологический анализ печени коров 5–6-летнего возраста выявил наличие зернистой дистрофии, активацию компенсаторных механизмов, проявляющихся наличием двуядерных гепатоцитов. Процессы деструктивного характера носят слабо выраженный характер, наблюдаются отдельные очаги жировой дистрофии, характерные для данной возрастной группы. Выявленные глубокие изменения сосудистого русла (лимфостаз, утолщение стенок артерий), а также разрастание соединительнотканной стромы и ее коллагенизация, свидетельствует о начале продуктивного воспаления (см. рисунок 3.2). У более возрастных животных (9 лет) в печени отмечено отложение гемосидерина в клетках Купфера, что свидетельствует об анемии организма и нарушении ферментативной функции селезенки. Это коррелирует с постепенной индурацией селезенки животных в возрасте от 5 до 9

лет. В стенке кровеносных сосудов развивается активный пролиферативный процесс. В красной пульпе в сидерофагах откладывается гемосидерин (см. рисунок 3.3).

В двенадцатиперстной кишке отмечается воспалительная реакция в виде плотной полиморфноклеточной инфильтрации, участками десквамация эпителия. Кроме того, наблюдается отложение гемосидерина, что указывает на повышение проницаемости стенки микроциркуляторного русла (см. рисунок 3.4).

В поджелудочной железе дегенеративные изменения обнаружены у коров 6- и 9-летнего возраста. Происходит разрастание соединительной ткани, усиливаются пролиферативные процессы в стенке артерий, что ведет к расширению просвета сосудов лимфатической системы. Отмечена атрофия долек поджелудочной железы, появляются изолированные ост-

ровки панкреатитов, связанное с разрастанием соединительнотканной стромы, что свидетельствует о начале атрофического процесса в эндокринной части железы (см. рисунок 3.5). В почках наблюдается расширение почечного пространства, расширение просвета почечных канальцев и резкое уменьшение объема

нефроцитов. Изменения затрагивают микроциркуляторное русло органа. Также в почке установлена деформация клубочков, интракапиллярный гломерулит и вакуольная дистрофия эпителия канальцев, а на уровне мозгового вещества развивается нефросклероз, более выраженный у коровы 9 лет (см. рисунок 3.6).

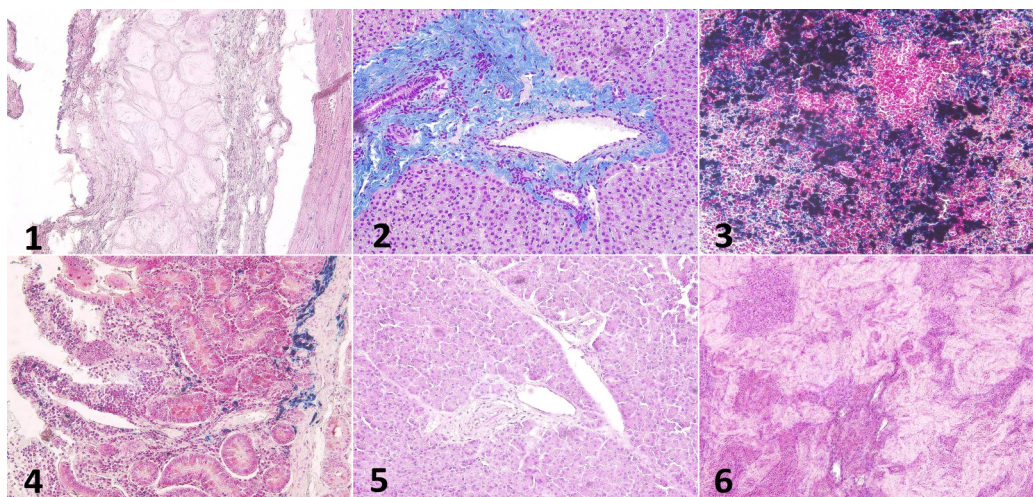


Рисунок 3 – Комплекс морфологических изменений в тканях органов коров в возрасте 5,6 и 9 лет: 1 – Дистрофические и некротические процессы в волокнах Пуркинье в сердце коровы в возрасте 5 лет, окрашивание гематоксилином и эозином, ув. 200х; 2 – Разрастание и коллагенизация соединительной ткани в печени коровы в возрасте 5 лет, окрашивание по Маллорли, ув. 200х; 3 – Интенсивное отложение гемосидерина в сидерофагах красной пульпы селезенки коровы в возрасте 9 лет, окрашивание по Перлсу, ув. 200х; 4 – Активное отложение гемосидерина в ворсинках и периваскулярно в мышечном слое слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки коровы в возрасте 9 лет, окрашивание по Перлсу, ув. 200х; 5 – Разрастание соединительной ткани, расширение просвета сосудов лимфатической системы и атрофия долек поджелудочной железы, окрашивание гематоксилином и эозином, ув. 200х; 6 – Обширные очаги нефросклероза в почке коровы в возрасте 9 лет, окрашивание гематоксилином и эозином, ув. 200х.

При исследовании двенадцатиперстной кишки коровы шестилетнего возраста отмечена интенсивная положительная реакция на β -галактозидазу на уровне слизистой оболочки кишечника. Включения пигмента синего цвета обнаруживаются в эпителии ворсинок и железистого аппарата (см. рисунок 4.1). В свою очередь, данные морфологического анализа показывают сильное катаральное воспаление с гиперсекрецией желез (см. рисунок 4.2).

В почках при этом определяется положительная реакция на β -галактозидазу как в корковом, так и в мозговом веществе, преимущественно в эпителии канальцев, что указывает на их деструкцию (см. рисунок 5.1). При этом методами классической гистологии в почках определяются дегенеративные изменения (деформация клубочков) и дистрофия нефроцитов (см. рисунок 5.2).

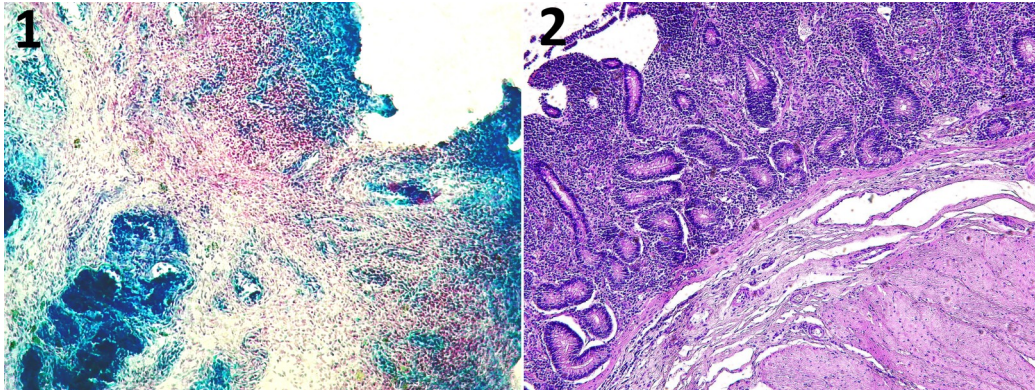


Рисунок 4 – Двенадцатиперстная кишка коровы возраста 6 лет: 1 – Окраска на активность β -галактозидазы, ув. 100х; 2 – Окраска по Маллори, ув. 100х.

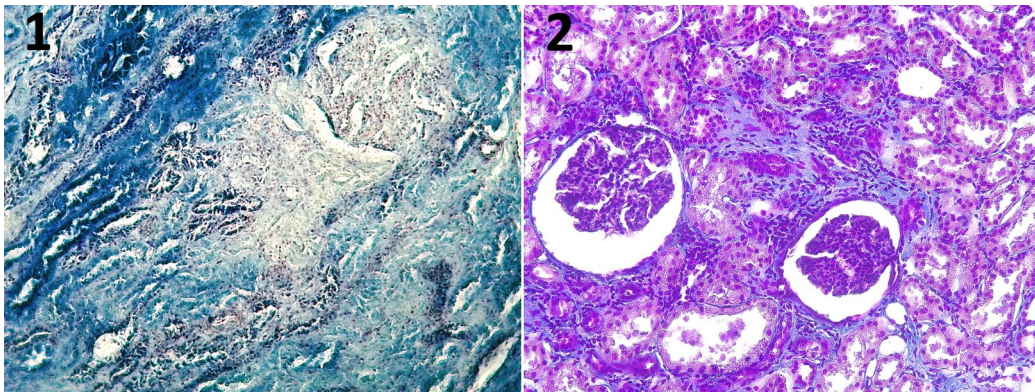


Рисунок 5 – Почка коровы возраста 6 лет: 1 – Окраска на активность β -галактозидазы, ув. 200х; 2 – Окраска по Маллори, ув. 200х.

Проведённые исследования показали, что структурно-дегенеративные изменения тканей органов у крупного рогатого скота начинают развиваться уже в трехлетнем возрасте, то есть после первого отела. В первую очередь, изменения затрагивают сердечно-сосудистую систему, на которую приходится максимальная нагрузка, вызванная лактацией. В сердечной мышце начинается разрастание соединительной ткани, в селезенке и почках выражено нарушение микроциркуляторного русла. С увеличением возраста процессы структурно-функциональной дегенерации тканей нарастают: в сердечной мышце усиливается разрастание соединительной ткани, в печени наряду с жировой дистрофией, развиваются фиброзные

изменения, в селезенке обнаруживается значительное отложение гемосидерина и липофусцина, что свидетельствует о преждевременной сенесценции клеток. Trizno M. N., Kurtusunov B. T., Trizno E. V., et al. (2024) в опытах на крысах установили, что наличие липофусцина в печени и почках часто сочеталось с патоморфологическими изменениями ткани в виде фиброза, склерозирования и других признаков дегенерации. Аналогичную картину мы наблюдали у крупного рогатого скота, начиная с четырехлетнего возраста и старше. Лактация у коров сопровождается метаболическим напряжением, развитием оксидативного стресса, что является триггером дегенеративных процессов в сердечной мышце и паренхи-

матозных органах. Сердце, печень и почки являются основными гомеостатическими органами и играют ключевую роль в метаболизме, удалении продуктов распада, устойчивости основных физиологических параметров организма. Интенсивная лактация приводит к функциональной нагрузке органов, что может сопровождаться отложением липофусцина в клетках, снижением способности поддерживать гомеостаз с возрастом [17, 18]. В гистологических препаратах сердца коров 5–8-летнего возраста выявлен некроз волокон Пуркинье, что свидетельствует о нарушении проводящей системы сердца вследствие тяжелых дистрофических процессов. Для паренхиматозных органов (печени, почек, селезенки) характерно изменение сосудистого русла (лимфостаз, утолщение стенок артерий) и активная коллагенизация стромы органов. Отложение в красной пульпе селезенки липофусцина, является универсальным маркером старения организма [14]. Проведенные исследования подтверждают тот факт, что клеточное старение, имеет схожие морфологические изменения со стороны подверженных ему клеток и оказывает серьезное воздействие на тканевые структуры [15].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

На основании проведенных исследований можно заключить, что у высокопродуктивных коров структурно-дегенеративные изменения органов, свидетельствующие о преждевременном старении (истощении), развиваются во всех исследованных органах, начиная с трехлетнего возраста (после первого отела). В процессе геронтогенеза эти изменения носят более выраженный характер и затрагивают, прежде всего, функционально ведущие части органов – паренхиму печени, почек, миокарда. Углубление знаний о процессах возрастной структурно-функциональной дегенерации тканей органов у высокопродуктивных коров позволит разработать универсальные патогенетические подходы для увеличения их продуктивного долголетия.

CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHANGES IN THE INTERNAL ORGANS OF COWS OF DIFFERENT AGE

Shkuratova I.A.* – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Veterinary Medicine, Professor, Chief Researcher of the Department of Ecology and Non-Infectious Animal Pathology (ORCID 0000-0003-0025-3545); **Drozdova L.I.** – Doctor of Veterinary Medicine, Professor, Leading Researcher of the Department of Ecology and Non-Infectious Animal Pathology (ORCID 0000-0001-9689-1781); **Petrova I.M.** – Laboratory Assistant of the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0002-4358-5219); **Khatsko S.L.** – Laboratory Assistant of the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0001-5921-6680); **Sokolova O.V.** – Doctor of Veterinary Medicine, Professor, Leading Researcher of the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0002-1169-4090); **Bytov M.V.** – Junior Researcher of the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0002-3622-3770)

Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

*shkuratova@bk.ru

Funding: *The study was carried out with funds from the Russian Science Foundation grant № 23-16-00117 “Spatial characteristics of transcriptomic and metabolomic features of premature structural and functional degeneration of tissues of organs of farm animals and poultry”, <https://rscf.ru/project/23-16-00117>*

Compliance with ethical standards: *The research was approved by the Institutional Ethics Committee of the Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (protocol No. 2 dated July 10, 2025).*

Conflict of interest: *The authors of this work declare that they have no conflict of interest.*

ABSTRACT

The scientific literature provides insufficient data on the development of age-related structural and functional changes in cattle. Studying age-related pathomorphological changes in cattle will help identify markers of premature organ aging and develop strategies and tactics for increasing the productive longevity of cows. The aim of this study was to examine the characteristics of structural and functional changes in the internal organs of mature cattle across age-related factors. Material was obtained from heifers and culled high-yielding cows aged three, four, five, six, and nine years. Organ samples were collected for histological examination and fixed in 10% buffered neutral formalin. Deparaffinized sections 3–4 μm thick were stained with dyes for histological examination. It was established that structural and degenerative changes in organ tissues begin to develop as early as three years of age, that is, after the first calving. The cardiovascular system, which bears the greatest strain from lactation, is primarily affected by these changes. With increasing age, structural and functional tissue degeneration processes intensify: connective tissue proliferation intensifies in the heart muscle, fibrous changes develop in the liver alongside fatty degeneration, and significant hemosiderin deposition is detected in the spleen, indicating premature cell senescence. Histological specimens of the hearts of 5- to 8-year-old cows revealed necrosis of the Purkinje fibers, indicating disruption of the cardiac conduction system due to severe degenerative processes. Parenchymatous organs are characterized by changes in the vascular bed and active collagenization of the organ stroma. Thus, cellular aging produces similar morphological changes and has a significant impact on tissue structures.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Василевич, Н. И. Знать врага в лицо: молекулярные маркеры старения / Н. И. Василевич // Лаборатория и производство. – 2020. – № 3-4(13). – С. 118-128. – DOI 10.32757/2619-0923.2020.3-4.13.118.128.
2. Libertini, G. Empirical evidence for various evolutionary hypotheses on species demonstrating increasing mortality with increasing chronological age in the wild / G. Libertini // The Scientific World Journal. – 2008. – Vol. 8. – P. 182-193. – DOI 10.1100/tsw.2008.36.
3. Wnuk, M. Aging process in chromatin of animals / M. Wnuk, M. Bugno-Poniewierska, A. Lewińska, B. Oklejewicz, T. Zabek, E. Slota // Annals of Animal Science. – 2012. – Vol. 12. – No. 3. – P. 301-309. – DOI 10.2478/v10220-012-0025-3.
4. Cormenier, J. The ATF6 α arm of the Unfolded Protein Response mediates replicative senescence in human fibroblasts through a COX2/prostaglandin E2 intracrine pathway / J. Cormenier, N. Martin, J. Deslé, C. Salazar-Cardozo, A. Pourtier, C. Abbadie, O. Pluquet // Mechanisms of ageing and development. – 2018. – Vol. 170. P. 82-91. – DOI: 10.1016/j.mad.2017.08.003.
5. Басонов, О. А. Зависимость продолжительности хозяйственного использования коров от уровня молочной продуктивности / О. А. Басонов, О. Е. Павлова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4 (40). – С. 103-107.
6. Овчинникова, Л. Ю. Продуктивное долголетие коров высокопродуктивного стада в зависимости от степеней инбридинга / Л. Ю. Овчинникова, К. К. Мулявка // АПК России. – 2023. – Т. 30. – № 4. – С. 582-587. – DOI 10.55934/2587-8824-2023-30-4-582-587.
7. Бекенев, В. А. Продуктивное долголетие животных, способы его прогнозирования и продления / В. А. Бекенев // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 4. – С. 655-666. – DOI 10.15389/agrobiology.2019.4.655rus.
8. Некрасов, А. Сроки хозяйственного использования коров можно увеличить / А. Некрасов, Н. Попов // Животноводство России. – 2021. – № 2. – С. 55-59. – DOI 10.25701/ZZR.2020.59.23.013. Режим доступа: <https://static.zzzr.ru/public/article/pdf/zzr-2021-02-015.pdf>
9. Мымрин, В. С. Племенное животноводство Среднего Урала (от истоков до

- наших дней): монография / В. С. Мыррин, С. В. Мыррин, О. Г. Лоретц и др.: отв. ред. В. С. Мыррин. – Екатеринбург: Издательство Уральского ГАУ, 2023 – 156 с.
10. Wright, J. R. Genetic evaluation of dairy cow livability / J. R. Wright, P. M. VanRaden // *Journal of Animal Science*. – 2016. – Vol. 94. – P. 178. – DOI 10.2527/jam2016-0368.
11. Анализ результатов оценки племенной ценности животных в сельскохозяйственных организациях Челябинской области – за 2021 год // Мыррин С. В. и др. Челябинск, 2022. – 44 с.
12. He, S. Senescence in health and disease / S. He, N. E. Sharpless // *Cell*. – 2017. – Vol. 169. – No. 6. – P. 1000-1011. – DOI 10.1016/j.cell.2017.05.015.
13. Campisi, J. Cellular senescence: a link between cancer and age-related degenerative disease? / J. Campisi, J. K. Andersen, P. Kapahi, S. Melov // *Seminars in cancer biology*. – 2011. – Vol. 21. – No. 6. – P. 354-359. – DOI: 10.1016/j.semcancer.2011.09.001.
14. Libertini, G. Элиминация сенесцентных клеток: перспективы с точки зрения теории теломер–субтеломер. ОБЗОР / G. Libertini, N. Ferrara, G. Rengo, G. Corbi // *БИОХИМИЯ*. – 2018. – Т. 83. – № 12. – С. 1812-1826.
15. Тризно, М. Н. Выявление клеток висцеральных органов, гипорезистентных к липофусциногенезу / М. Н. Тризно, Б. Т. Куртусунов, Е. В. Тризно, М. В. Мажитова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2024. – № 3. – DOI 10.17513/spno.33499. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33499>
16. Клеточное старение: молекулярный и морфологический аспекты / А. В. Игрунова, Я. М. Валиева, А. М. Калиниченко, А. В. Курков, К. Ю. Попова, Д. Ю. Шестаков, В. А. Заборова // *Молекулярная медицина*. – 2022. – Т. 20. – № 4. – С. 16-21. – DOI 10.29296/24999490-2022-04-03.
17. He, Y. Progress in the study of aging marker criteria in human populations / Y. He, Z. Li, Y. Niu, Y. Duan, Q. Wang, X. Liu, Z. Dong, Y. Zheng, Y. Chen, Y. Wang, D. Zhao, X. Sun, G. Cai, Z. Feng, W. Zhang, X. Chen // *Frontiers in public health*. – 2024. – Vol. 12. – Article ID: 1305303. – DOI 10.3389/fpubh.2024.1305303.

REFERENCES

1. Vasilevich, N. I. Knowing the enemy: molecular markers of aging / N. I. Vasilevich // *Laboratory and production*. 2020:3-4 (13):118-128. – DOI 10.32757/2619-0923.2020.3-4.13.118.128. (In Russ.)
2. Libertini, G. Empirical evidence for various evolutionary hypotheses on species demonstrating increasing mortality with increasing chronological age in the wild / G. Libertini // *The Scientific World Journal*. 2008:8:182-193. – DOI 10.1100/tsw.2008.36.
3. Wnuk, M. Aging process in chromatin of animals / M. Wnuk, M. Bugno-Poniewierska, A. Lewińska, B. Oklejewicz, T. Zabek, E. Slota // *Annals of Animal Science*. 2012:12(3):301-309. – DOI 10.2478/v10220-012-0025-3.
4. Cormenier, J. The ATF6 α arm of the Unfolded Protein Response mediates replicative senescence in human fibroblasts through a COX2/prostaglandin E2 intracrine pathway / J. Cormenier, N. Martin, J. Deslé, C. Salazar-Cardozo, A. Pourtier, C. Abbadie, O. Pluquet // *Mechanisms of Ageing and Development*. 2018:170:82-91. – DOI 10.1016/j.mad.2017.08.003.
5. Basonov, O. A. Duration of economic use of cows depending on their milk productivity level / O. A. Basonov, O. E. Pavlova // *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2014:(40):103-107. (In Russ.)
6. Ovchinnikova, L. Yu., Productive longevity of cows of a highly productive herd depending on the degree of inbreeding / L. Yu. Ovchinnikova, K. K. Mulyavka // *Agro-industrial complex of Russia*. 2023:30 (4):582-587. – DOI 10.55934/2587-8824-2023-30-4-582-587. (In Russ.)
7. Bekenev, V. A. Productive longevity of animals, methods of its prediction and extension / V. A. Bekenev // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2019:54(4):655-666. – DOI 10.15389/

- agrobiology.2019.4.655rus. (In Russ.)
8. Nekrasov, A. The period of economic use of cows can be increased / A. Nekrasov, N. Popov // *Animal Husbandry of Russia*. 2021: (2):55-59. – DOI 10.25701/ZZR.2020.59.23.013. (In Russ.)
9. Mymrin, V. S. Livestock breeding in the Middle Urals (from its origins to the present day): monograph / V. S. Mymrin, S. V. Mymrin, O. G. Loretts, et al. // Ekaterinburg: Publishing House of the Ural State Agrarian University, 2023 – 156 p. (In Russ.)
10. Wright, J. R. Genetic evaluation of dairy cow livability / J. R. Wright, P. M. VanRaden // *Journal of Animal Science*. 2016:94:178. – DOI 10.2527/jam2016-0368.
11. Analysis of the results of assessing the breeding value of animals in agricultural organizations of the Chelyabinsk region – for 2021 // Mymrin S. V. et al. Chelyabinsk, 2022. – 44 p. (In Russ.)
12. He, S. Senescence in health and disease / S. He, N. E. Sharpless // *Cell*. 2017:169(6):1000-1011. – DOI 10.1016/j.cell.2017.05.015.
13. Campisi, J. Cellular senescence: a link between cancer and age-related degenerative disease? / J. Campisi, J. K. Andersen, P. Kapahi, S. Melov // *Seminars in cancer biology*. 2011:21(6):354-359. – DOI 10.1016/j.semcancer.2011.09.001.
14. Libertini, G. Elimination of Senescent Cells: Prospects According to the Subtelomere-Telomere Theory. / G. Libertini, N. Ferrara, G. Rengo, G. Corbi // *Biochemistry [Biokhimiia]*. 2018:83(12):1812-1826. – DOI: 10.1134/S0006297918120064. (In Russ.)
15. Trizno, M. N. Identification of visceral organ cells that are hyporesistant to lipofuscinogenesis / M. N. Trizno, B. T. Kurtusunov, E. V. Trizno, M. V. Mazhitova // *Modern problems of science and education*. 2024:(3) – DOI 10.17513/spno.33499. (In Russ.)
16. Igrunkova, A. V. Cellular senescence: molecular biology and morphology / A. V. Igrunkova, Y. M. Valieva, A. M. Kalinichenko, A. V. Kurkov, K. Yu. Popova, D. Yu. Shestakov, V. A. Zaborova // *Molekulyarnaya Meditsina*. 2022:20(4):16-21. – DOI 10.29296/24999490-2022-04-03. (In Russ.)
17. He Y, Li Z, Niu Y, et al. Progress in the study of aging marker criteria in human populations. *Frontiers in Public Health*. 2024:12:1305303. – DOI 10.3389/fpubh.2024.1305303.