



DOI 10.22363/2312-797X-2025-20-2-323-332
EDN ODGYVF
УДК 619:578.834

Научная статья / Research article

Иммунологические показатели при серозно-катаральном воспалении вымени у лактирующих коров

М.Е. Остякова¹ , К.С. Косицына^{1,2}  , В.К. Ирхина¹ 

¹Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
г. Благовещенск, Российская Федерация

²Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Российская
Федерация

 kseniya-kos1997@yandex.ru

Аннотация. Целью исследования является изучение иммунологических параметров крови у лактирующих коров при серозно-катаральном воспалении вымени для выявления патогенетических механизмов заболевания. Исследования проводили осенью в одном из животноводческих хозяйств Амурской области. Объект исследования — лактирующие коровы голштинской породы на 2–4 мес. лактации. Группы коров формировали по 10 голов в каждой: контрольная (здоровые) и опытная (больные серозно-катаральным маститом). Воспалительный процесс в молочной железе лактирующих коров был обусловлен повреждением тканей и осложнен условно-патогенной микрофлорой. У больных животных отмечали нарушения белкового обмена (гипоальбуминемия, диспротеинемия) и признаки гемоконцентрации (повышенный гематокрит и гемоглобин, эритроцитоз). Условно-патогенная микрофлора и продукты воспаления в молочной железе стимулировали клеточный и гуморальный иммунитет.

Ключевые слова: воспаление молочной железы, биохимические показатели крови, иммунологические показатели крови, иммунитет, молочный скот

Вклад авторов: Остякова М.Е. — руководитель исследований, разработала концепцию исследования, провела анализ данных и интерпретацию результатов; Косицына К.С. — участвовала в сборе данных, проводила экспериментальные исследования, внесла вклад в редактирование текста; Ирхина В.К. — участвовала в сборе данных, проводила экспериментальные исследования.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 18 марта 2025 г., принята к публикации 14 апреля 2025 г.

© Остякова М.Е., Косицына К.С., Ирхина В.К., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования: Остякова М.Е., Косицына К.С., Ирхина В.К. Иммунологические показатели при серозно-катаральном воспалении вымени у лактирующих коров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 2. С. 323–332. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-2-323-332 EDN: ODGYVF

Immunological parameters in serous catarrhal inflammation of the udder in lactating cows

Marina E. Ostyakova¹ , Kseniya S. Kositsyna^{1,2}  , Vera K. Irkhina¹ 

¹Far East Zone Research Veterinary Institute, *Blagoveshchensk, Russian Federation*

²Far Eastern State Agrarian University, *Blagoveshchensk, Russian Federation*

 kseniya-kos1997@yandex.ru

Abstract. The aim of this study is to investigate the immunological parameters of blood in lactating cows with serous-catarrhal mastitis to identify the pathogenetic mechanisms of the disease. The research was carried out in autumn in one of the livestock farms of the Amur region. The object of the study was lactating cows of Holstein breed at 2–4 months of lactation. Groups of cows were formed by 10 animals in each: control (healthy) and experimental (sick with serous catarrhal mastitis). The inflammatory process in the mammary gland of lactating cows was caused by tissue damage and complicated by opportunistic microflora. Protein metabolism disorders (hypoalbuminemia, dysproteinemia) and signs of haemoconcentration (increased haematocrit and haemoglobin, erythrocytosis) were observed in sick animals. Conditionally pathogenic microflora and products of inflammation in the mammary gland stimulated cellular and humoral immunity.

Key words: mammary gland inflammation, biochemical and immunological blood parameters, immunity, dairy cattle

Authors contributions: Ostyakova M.E. — head of the research, developed the study concept, conducted data analysis and interpretation of the results; Kositsyna K.S. — data collection, conducted experimental studies, contributed to editing the text; Irkhina V.K. — participated in data collection, conducted experimental studies.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 18 March 2025, accepted 14 April 2025.

For citation: Ostyakova ME, Kositsyna KS, Irkhina VK. Immunological parameters in serous-catarrhal inflammation of the udder in lactating cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(2): 323–332. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-2-323-332 EDN: ODGYVF

Введение

Мастит — основная причина снижения удоев, качественных показателей молока, сокращения молочной продукции и преждевременной выбраковки животных [1]. Частой причиной маститов являются микротравмы, к которым присоединяется воспаление. Воспаление осложняется патогенной и условно-патогенной микрофлорой: *Staphylococcus aureus*, коагулазонегативные стафилококки (КНС),

Streptococcus agalactiae, *Streptococcus dysgalactiae*, *Mycoplasma bovis*, *Mycoplasma spp.*, *Corynebacterium bovis* [2, 3].

Интенсивное содержание молочного скота существенно влияет на иммунитет молочной железы и способность организма лактирующих коров противостоять маститу [4, 5], вследствие чего маститы переходят в хронические, что снижает общий иммунитет у коров.

Целью исследования является изучение иммунологических параметров крови у лактирующих коров при серозно-катаральном воспалении вымени для выявления патогенетических механизмов заболевания.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили осенью в одном из животноводческих хозяйств Амурской области. Объект исследования — лактирующие коровы голштинской породы на 2–4-й месяц лактации. Группы коров формировали по 10 голов в каждой: контрольная (здоровые) и опытная (больные серозно-катаральным маститом).

Диагностику маститов проводили по баллам, согласно клиническим критериям диагностики маститов Силивировой Т.Л., Федотову С.В. (2004). Критериями оценки состояния молочной железы являлись ее внешний вид, исследования секрета, пальпация, состояние надвыменных лимфатических узлов [6].

Дополнительно коров проверяли на мастит быстрым маститным тестом (БМТ) — Масттест. В состав Масттеста входит сульфано́л (поверхностно-активное вещество), который при взаимодействии с ДНК ядер соматических клеток молока образует сгусток различной плотности, а при изменении pH молока меняется цвет смеси. Реакцию учитывали по степени образования желеобразного сгустка и изменению цвета смеси [7].

Количество соматических клеток в молоке определяли визуальным методом по изменению вязкости смеси молока с препаратом Мастоприм согласно ГОСТ 23453–2014¹.

Другие сопутствующие заболевания у коров, больных маститом, на момент исследования не были выявлены.

Кровь для исследований отбирали из хвостовой вены. Уровень неспецифической резистентности определяли: по общему белку на рефрактометре; фракции белка нефелометрическим методом [8]; лизоцимной активности сыворотки крови (ЛАСК) нефелометрическим методом по В.Г. Дорофейчуку (1968); фагоцитарной активности нейтрофилов (ФАН) по методике А.И. Иванова и Б.А. Чухловина (1967); циркулирующим иммунным комплексам (ЦИК) методом Ю.А. Гриневича и А.Н. Алферова (1981); количеству лейкоцитов, в т. ч. лимфоцитов [9].

Клинические и бактериологические исследования, определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам проводили согласно наставлениям, методическим указаниям и рекомендациям: «Методические рекомендации по микробиологическому исследованию молока и секрета вымени коров

¹ ГОСТ 23453–2014. Молоко сырое. Методы определения соматических клеток. М. : Стандартинформ, 2015.

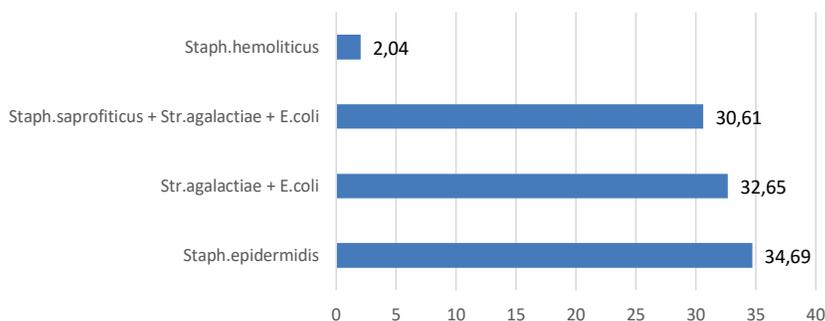
для диагностики мастита»²; «Методические указания по бактериологическому исследованию молока и секрета вымени коров»³; Методические указания по определению чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. МУК 4.2. 1890–04⁴; «Наставления по диагностике, терапии и профилактике мастита у коров»⁵.

Статистическую обработку результатов проводили методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента и пакета программ Microsoft Excel. Различия значений считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

У коров опытной группы клинически серозно-катаральный мастит проявлялся поражением одной или двух четвертей вымени, их покраснением, отеком, болезненностью, повышением местной температуры. Первые порции молока были жидкие и содержали хлопья или крошковидные сгустки выпавшего казеина, затем, по мере выдаивания, выделялось нормальное молоко. По клиническим критериям диагностики по Т.Л. Силивировой, С.В. Федотову [6] маститы оценивали в 3–4 балла.

При бактериологическом исследовании из молока лактирующих коров, больных серозно-катаральным маститом, выделили условно-патогенные и патогенные микроорганизмы: *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus agalactiae* + *Escherichia coli*, *Staphylococcus saprophyticus* + *Streptococcus agalactiae* + *Escherichia coli*, *Staphylococcus haemolyticus* (рис.) [10].



Микробиологический профиль молока из пораженных долей вымени у лактирующих коров, %

Источник: выполнено М.Е. Остяковой, К.С. Косицыной, В.К. Ирхиной.

Microbiological profile of milk from affected udder lobes in lactating cows,%

Source: compiled by M.E. Ostyakova, K.S. Kositsyna, V.K. Irkhina.

² Методические рекомендации по микробиологическому исследованию молока и секрета вымени коров для диагностики мастита / В.М. Карташова, Л.А. Таранова. М. : Россельхозакадемия, 1994. 35 с.

³ Методические указания по бактериологическому исследованию молока и секрета вымени коров. Утв. Главным управлением ветеринарии МСХ СССР, 1983. 14 с.

⁴ Методические указания по определению чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. МУК 4.2. 1890–04. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 91 с.

⁵ Наставление по диагностике, терапии и профилактике мастита у коров. Департамент ветеринарии. 30.03.2000 г. № 13–5–2/1948.

Количество соматических клеток в молоке здоровых коров находилось в пределах до 500 тыс. кл/мл, а у больных клиническим маститом было выше допустимого уровня.

Уровень общего белка в сыворотке крови у коров с маститами был выше, чем у здоровых коров на 8,4 % ($p < 0,05$) (табл. 1).

Таблица 1

Биохимический анализ крови лактирующих коров при серозно-катаральном мастите $M \pm m$, $n = 10$

Показатель	Группы коров	
	Контрольная	Опытная
Общий белок, г/л	79,5 ± 1,14	86,2 ± 2,13*
Альбумины,%	41,9 ± 0,58	21,0 ± 1,82***
α-глобулины,%	12,3 ± 0,77	13,2 ± 1,97
β-глобулины,%	17,6 ± 0,87	40,3 ± 3,06***
γ-глобулины,%	28,2 ± 1,21	25,6 ± 2,96

Примечание. * – $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$, по отношению к контрольной группе.

Источник: выполнено М.Е. Остяковой, К.С. Косицыной, В.К. Ирхиной.

Table 1

Biochemical analysis of blood of lactating cows in serous catarrhal mastitis $M \pm m$, $n = 10$

Parameter	Cow groups	
	Control	Experimental
Total protein, g/l	79.5 ± 1.14	86.2 ± 2.13*
Albumins,%	41.9 ± 0.58	21,0 ± 1.82***
α-globulins,%	12.3 ± 0.77	13.2 ± 1.97
β-globulins,%	17.6 ± 0.87	40.3 ± 3.06***
γ-globulins,%	28.2 ± 1.21	25.6 ± 2.96

Note. * – $p < 0.05$; *** – $p < 0.001$, in relation to the control group.

Source: compiled by M.E. Ostyakova, K.S. Kositsyna, V.K. Irkhina.

В группе лактирующих коров с маститами отмечали диспротеинемии, которые проявлялись низким уровнем альбуминов (на 50,1 % ($p < 0,001$)) и высоким уровнем бета-глобулинов (в 2,3 раза ($p < 0,001$)).

Гипербетаглобулинемия, вероятно, обусловлена повышением концентрации гемопексина и компонентами комплемента С3, С4, которые входят во фракцию бета-глобулинов. При воспалении восстанавливается и улучшается фагоцитарная активность при опосредованном гемопексином поглощении гема, применении агонистов PPARγ или IL-4 путем функциональной и метаболической перестройки связи макрофагов [11].

Низкий уровень альбуминов был связан с повышением вязкости и концентрации крови, так как при воспалении изменяются реологические особенности

крови: происходит усиление выпотевания альбуминов, в связи, с чем относительно увеличивается количество глобулинов и фибриногена [12].

Концентрация лейкоцитов в группе опыта была выше, чем у здоровых в 1,4 раза ($p < 0,001$) (табл. 2).

Таблица 2

Иммунологические показатели крови лактирующих коров при серозно-катаральном мастите $M \pm m, n = 10$

Показатель	Группы животных	
	Контрольная	Опытная
Эритроциты, 10^{12} л	5,7 ± 0,13	7,7 ± 0,21***
Лейкоциты, 10^9 л	6,5 ± 0,25	9,4 ± 0,44***
Гемоглобин, г/л	113,4 ± 3,13	127,0 ± 2,39**
Гематокрит, %	66,5 ± 1,75	88,9 ± 1,42***
Цветовой показатель	0,9 ± 0,03	1,1 ± 0,02
Эозинофилы, %	2,3 ± 0,54	1,9 ± 0,66
Палочкоядерные нейтрофилы, %	1,3 ± 0,15	3,1 ± 0,50**
Сегментоядерные нейтрофилы, %	31,5 ± 1,05	39,3 ± 4,01
Лимфоциты, %	63,7 ± 1,18	52,8 ± 4,50*
Моноциты, %	1,2 ± 0,39	2,9 ± 0,91
ФАН, %	88,3 ± 0,78	97,7 ± 1,46***
ЛАСК, %	15,3 ± 0,84	19,0 ± 1,51*
ЦИК, г/л	36,6 ± 1,36	90,5 ± 5,93***

Примечание. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$, по отношению к контрольной группе; базофилы, миелоциты и метамиелоциты не обнаружены.

Источник: выполнено М.Е. Остяковой, К.С. Косицыной, В.К. Ирхиной.

Table 2

Immunologic indicators of blood of lactating cows in serous catarrhal mastitis $M \pm m, n = 10$

Parameter	Cow groups	
	Control	Experimental
Erythrocytes, 10^{12} l	5.7 ± 0.13	7.7 ± 0.21***
Leukocytes, 10^9 l	6.5 ± 0.25	9.4 ± 0.44***
Hemoglobin, g/l	113.4 ± 3.13	127.0 ± 2.39**
Hematocrit, %	66.5 ± 1.75	88.9 ± 1.42***
Color index	0.9 ± 0.03	1.1 ± 0.02
Eosinophils, %	2.3 ± 0.54	1.9 ± 0.66
Band neutrophils, %	1.3 ± 0.15	3.1 ± 0.50**
Segmented neutrophils, %	31.5 ± 1.05	39.3 ± 4.01
Lymphocytes, %	63.7 ± 1.18	52.8 ± 4.50*
Monocytes, %	1.2 ± 0.39	2.9 ± 0.91
FAN, %	88.3 ± 0.78	97.7 ± 1.46***
LASK, %	15.3 ± 0.84	19.0 ± 1.51*
CIC, g/l	36.6 ± 1.36	90.5 ± 5.93***

Note. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$, in relation to the control group; basophils, myelocytes and metamyelocytes were not detected.

Source: compiled by M.E. Ostyakova, K.S. Kositsyna, V.K. Irkhina.

У больных коров отмечали признаки гемоконцентрации: высокий уровень гематокрита (в 1,4 раза, $p < 0,001$), общего белка (на 8,4 %, $p < 0,05$), эритроцитов (в 1,4 раз, $p < 0,001$), гемоглобина (в 1,1 раз, $p < 0,001$) и цветового показателя (1,2 раза, $p < 0,01$).

Концентрация лимфоцитов в группах больных коров была ниже, чем у здоровых на 17,1 % ($p < 0,05$). Уровень палочкоядерных нейтрофилов выше в группе у маститных коров в 2,4 раза ($p < 0,01$). Нейтрофилы вырабатывают лизоцим, являющийся одним из факторов естественной резистентности, вызывающим лизис возбудителей бактериальных инфекций, в т.ч. с множественной лекарственной устойчивостью [13]. Уровень лизоцимной активности сыворотки крови у коров при маститах был выше, чем у здоровых в 1,2 раза ($p < 0,05$).

У маститных коров на 10,65 % выше, чем у здоровых, была фагоцитарная активность нейтрофилов ($p < 0,001$). У коров, больных маститом, оцененных на 3 балла, она составляла 100,0 %, что было выше на 4,9 %, чем в группе коров, оцененных на 4 балла ($95,3 \pm 2,61$ %). Достоверность между группами коров отсутствовала.

Нейтрофилы — это мультипотентные клетки, выполняющие множество важных биологических функций в дополнение к фагоцитозу: выработка различных видов цитокинов / хемокинов / факторов роста, высвобождение нейтрофильных внеклеточных ловушек (NET) / эктосом / экзосом и трофоцитоз (обмен мембранами) с соседними клетками для модуляции врожденных и адаптивных иммунных реакций. Нейтрофилы также могут играть роль в ослаблении воспалительной реакции и заживлении ран с помощью подмножества нейтрофилов, полученных из миелоидных супрессорных клеток (PMN-MDSC) [14].

Иммунные комплексы (ИК) образуются во время иммунного ответа и могут отражать некоторые аспекты текущего иммунного ответа. Уровень ЦИК у больных животных был выше, чем у здоровых в 2,5 ($p < 0,001$), что объясняется наличием у коров инфекционно-воспалительного процесса [11, 12] в молочной железе. У коров с маститом, оцененных на 3 балла, уровень ЦИК ($105,2 \pm 3,51$ г/л) был выше на 34,5 % ($p < 0,05$), чем в группе коров, оцененных на 4 балла ($75,8 \pm 6,17$ г/л). Повышенный уровень ЦИК коррелировал с тяжестью воспаления, что обусловлено ингибированием опосредованной лимфоцитами цитотоксичности, вызванной антителами [15].

ИК, образованные чужеродными или собственными антигенами и антителами в биологических жидкостях, воздействуют на различные ткани и вызывают ряд заболеваний, а также являются триггерами возникновения иммунологических нарушений [16]. Нейтрофилы могут взаимодействовать с тромбоцитами, эпителиальными и эндотелиальными клетками, обеспечивая гемостаз, воспаление слизистых оболочек и атерогенез [19]. Поэтому лечение маститов у коров должно быть комплексным, включая антибактериальную и противовоспалительную терапию.

Заключение

Воспалительный процесс в молочной железе лактирующих коров обуславливался повреждением тканей и осложнялся условно-патогенной микрофлорой. У больных животных отмечали нарушения белкового обмена (гипоальбуминемию,

диспротеинемии) и признаки гемоконцентрации (повышенные гематокрит и гемоглобин, эритроцитоз). Условно-патогенная микрофлора и продукты воспаления в молочной железе стимулировали клеточный и гуморальный иммунитет. Высокий уровень фагоцитарной активности и циркулирующих иммунных комплексов у больных маститом коров явились результатом иммунного ответа при антигенной стимуляции.

Список литературы

1. Петрова З.А. Экспериментальные исследования по эффективности лечения коров больных сублиническим маститом препаратами, не содержащими антибиотиков // Студенты — науке и практике АПК: материалы 109-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов : в 2-х частях. Витебск, 24 мая 2024 г. Витебск : Витебская государственная академия ветеринарной медицины, 2024. Ч. 1. С. 49–50. EDN: NFRBEZ
2. Поляков И.Е., Ольшанская Е.А., Плевакова В.И. Мастит коров бактериальной этиологии // Ветеринарная медицина: связь поколений как фактор устойчивого развития России : материалы Междунар. конф., Омск, 08 ноября 2023 г. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. С. 72–75. EDN: JHICLW
3. Филатова А.В., Тишале Б.М., Федотов С.В. и др. Инфекционный фактор в этиологии мастита у высокопродуктивных лактирующих коров // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2022. Т. 58. № 4. С. 86–91. doi: 10.5236/8/2078-0109-2022-58-4-86-91 EDN: RBUKFW
4. Sordillo L.M., Shafer-Weaver K., DeRosa D. Immunobiology of the mammary gland // Journal of Dairy Science. 1997. Vol. 80. № 8. P. 1851–1865. doi: 10.3168/jds.S0022-0302 (97) 76121-6
5. Goulart D.B., Mellata M. Escherichia coli mastitis in dairy cattle: etiology, diagnosis, and treatment challenges // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. 928346. doi: 10.3389/fmicb.2022.928346 EDN: PKASKG
6. Силивинова Т.Л., Федотов С.В. Современная схема клинической диагностики маститов у коров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2004. № 2 (14). С. 73–76. EDN: PFOCOJ
7. Семиволос А.М., Семиволос С.А., Калюжный И.И. Оценка эффективности лечения коров при субклиническом мастите // Аграрный научный журнал. 2022. № 7. С. 78–80. doi: 10.28983/asj.y2022i7pp78–80 EDN: LQYHTU
8. Патент № 2669403 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/49. способ определения белковых фракций сыворотки крови: № 2017134218: заявл. 02.10.2017: опубл. 11.10.2018 / М.Е. Остякова, Г.Б. Штенникова; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт» (ФГБНУ ДальЗНИВИ).
9. Кручинкина Т.В. Влияние продолжительности скармливания йодсодержащего препарата глубоко-стельным коровам на иммунобиохимический статус новорожденных телят // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 4 (212). С. 136–140. doi: 10.37102/08697698.2020.212.4.022 EDN: TJYMGV
10. Остякова М.Е., Шульга И.С., Ирхина В.К. и др. Метаболические особенности и микрофлора молока при маститах у коров Амурской области // Ветеринария сегодня. 2023. Т. 12. № 3. С. 228–232. doi: 10.29326/2304-196X-2023-12-3-228-232 EDN: WLGQCK
11. Sharma R., Antypiuk A., Vance S.Z., Manwani D., Pearce Q., Cox J.E., An X., Yazdanbakhsh K., Vinchi F. Macrophage metabolic rewiring improves heme-suppressed efferocytosis and tissue damage in sickle cell disease // Blood. 2023. Vol. 141. № 25. P. 3091–3108. doi: 10.1182/blood.2022018026 EDN: WGIHSY
12. Gao J., Marins T.N., Calix J.O.S., Qi Z., Savegnago C.G., Roper A.M., Woldemeskel M.W., Bernard J.K., Tao S. Systemic and mammary inflammation and mammary gland development of Holstein dairy cows around dry-off and calving // Journal of dairy science. 2025. Vol. 108. № 2. P. 2090–2110. doi: 10.3168/jds.2024-25279 EDN: ESJTMS
13. Kamoshida G., Akaji T., Takemoto N., Suzuki Y., Sato Y., Kai D., Hibino T., Yamaguchi D., Kikuchi-Ueda T., Nishida S., Unno Y., Tansho-Nagakawa S., Ubaqai T., Miyoshi-Akiyama T., Oda M., Ono Y. Lipopolysaccharide-deficient acinetobacter baumannii due to colistin resistance is killed by neutrophil-produced lysozyme // Frontiers in microbiology. 2020. № 11. 573. doi: 10.3389/fmicb.2020.00573 EDN: RWAYIK

14. Tsai C.Y., Hsieh S.C., Liu C.W., Lu C.S., Wu C.H., Liao H.T., Chen M.H., Li K.J., Shen C.Y., Kuo Y.M., Yu C.L. Cross-Talk among polymorphonuclear neutrophils, immune, and non-immune cells via released cytokines, granule proteins, microvesicles, and neutrophil extracellular trap formation: a novel concept of biology and pathobiology for neutrophils // *International journal of molecular sciences*. 2021. Vol. 22. № 6. 3119. doi: 10.3390/ijms22063119
15. Jewell D.P., MacLennan I.C. Circulating immune complexes in inflammatory bowel disease // *Clinical and experimental immunology*. 1973. Vol. 14. № 2. P. 219–226.
16. Aibara N., Ohyama K. Revisiting immune complexes: key to understanding immune-related diseases // *Advances in clinical chemistry*. 2020. № 96. P. 1–17. doi: 10.1016/bs.acc.2019.11.001 EDN: ELVMSL

References

1. Petrova ZA. Ekhspperimental'nye issledovaniya po ehffektivnosti lecheniya korov bol'nykh sublinicheskim mastitom preparatami, ne soderzhashchimi antibiotiki [Experimental studies on the effectiveness of treatment of cows with subclinal mastitis with preparations that do not contain antibiotics]. In: *Students — science and practice of agroindustrial complex: Proceedings of the 109th International Scientific and Practical Conference of students and undergraduates*. Vitebsk, 24 May 2024. Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2024;49–50. (In Russ.). EDN: NFRBEZ
2. Polyakov IE, Olshanskaya EA, Pleshakova VI. Mastitis of cows of bacterial etiology. In: *Veterinary medicine: the connection of generations as a factor of sustainable development of Russia: Proceedings of the International Conference, Omsk, 8 November 2023*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2023;72–75. (In Russ.). EDN: JHICLW
3. Filatova AV, Tshivale BM, Fedotov SV, et al. Infectious factor in the etiology of mastitis in highly productive lactating cows. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine*. 2022;58(4):86–91. (In Russ.). doi: 10.52368/2078-0109-2022-58-4-86-91 EDN: RBUKFW
4. Sordillo LM, Shafer-Weaver K, DeRosa D. Immunobiology of the mammary gland. *Journal of Dairy Science*. 1997;80(8):1851–1865. doi: 10.3168/jds.S0022-0302 (97) 76121-6
5. Goulart DB, Mellata M. *Escherichia coli* mastitis in dairy cattle: etiology, diagnosis, and treatment challenges. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:928346. doi: 10.3389/fmicb.2022.928346 EDN: PKASKG
6. Silivirova TL, Fedotov SV. Sovremennaya skhema klinicheskoi diagnostiki mastitov u korov [Modern scheme of clinical diagnosis of mastitis in cows]. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2004;(2):73–76. (In Russ.). EDN: PFOCOJ
7. Semivolos AM, Semivolos SA, Kalyuzhny II. Evaluation of the effectiveness of treatment of cows with subclinical mastitis. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal [Agrarian Scientific Journal]*. 2022;(7):78–80. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2022i7pp78-80 EDN: LQYHTU
8. Ostyakova ME, Shtennikova GB. Patent No. 2669403 C1 Russian Federation, MPC G01N 33/49. Method for determination of protein fractions of blood serum: No. 2017134218: applied 02.10.2017: published 11.10.2018. Applicant Federal State Budgetary Scientific Institution 'Far Eastern Zonal Veterinary Research Institute' (FGBNU DalZNIIV).
9. Kruchinkina TV. Effect of the duration of feeding iodine-containing preparation to pregnant cows on the immunobiochemical status of newborn calves. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2020;(4):136–140. (In Russ.). doi: 10.37102/08697698.2020.212.4.022 EDN: TJYMGV
10. Ostyakova ME, Shulga IS, Irkhina VK, Kositsyna KS, Golaydo NS. Metabolism features and milk microbiota of cows with mastitis in the Amur Oblast. *Veterinary Science Today*. 2023;12(3):228–232. (In Russ.). doi: 10.29326/2304-196X-2023-12-3-228-232 EDN: WLGQCK
11. Sharma R, Antypiuk A, Vance SZ, et al. Macrophage metabolic rewiring improves heme-suppressed efferocytosis and tissue damage in sickle cell disease. *Blood*. 2023;141(25):3091–3108. doi: 10.1182/blood.2022018026 EDN: WGIHSY
12. Gao J, Marins TN, Calix JOS, et al. Systemic and mammary inflammation and mammary gland development of Holstein dairy cows around dry-off and calving. *Journal of dairy science*. 2025;108(2):2090–2110. doi: 10.3168/jds.2024-25279 EDN: ESJTMS

13. Kamoshida G, Akaji T, Takemoto N, et al. Lipopolysaccharide-deficient acinetobacter baumannii due to colistin resistance is killed by neutrophil-produced lysozyme. *Frontiers in microbiology*. 2020;11:573. doi: 10.3389/fmicb.2020.00573 EDN: RWAYIK
14. Tsai CY, Hsieh SC, Liu CW, et al. Cross-Talk among Polymorphonuclear Neutrophils, Immune, and Non-Immune Cells via Released Cytokines, Granule Proteins, Microvesicles, and Neutrophil Extracellular Trap Formation: A Novel Concept of Biology and Pathobiology for Neutrophils. *International journal of molecular sciences*. 2021;22(6):3119. Published 2021 Mar 18. doi: 10.3390/ijms22063119
15. Jewell DP, MacLennan IC. Circulating immune complexes in inflammatory bowel disease. *Clinical and experimental immunology*. 1973;14(2):219–226.
16. Aibara N, Ohyama K. Revisiting immune complexes: Key to understanding immune-related diseases. *Advances in clinical chemistry*. 2020;96:1–17. doi: 10.1016/bs.acc.2019.11.001 EDN: ELVMSL

Об авторах:

Остякова Марина Евгеньевна — доктор биологических наук, доцент, директор, Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, Российская Федерация, 675005, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Северная, д. 112; e-mail: dalznividv@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2996-0991 SPIN-код: 3038-0685

Косицына Ксения Сергеевна — младший научный сотрудник отдела микробиологии, вирусологии и иммунологии, Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, Российская Федерация, 675005, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Северная, д. 112; ассистент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и микробиологии, Дальневосточный государственный аграрный университет, Российская Федерация, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, д. 86; e-mail: kseniya-kos1997@yandex.ru

ORCID: 0009-0005-6247-0280 SPIN-код: 9056-4692

Ирхина Вера Константиновна — научный сотрудник отдела животноводства и птицеводства, Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, Российская Федерация, 675005, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Северная, д. 112; e-mail: dalznividv@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4553-7189 SPIN-код: 7893-0109

About the authors:

Ostyakova Marina Evgenievna — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director, Far Eastern Zone Research Veterinary Institute, 112 Severnaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation; e-mail: dalznividv@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2996-0991 SPIN-code: 3038-0685

Kositsyna Ksenia Sergeevna — Junior Researcher, Department of Microbiology, Virology and Immunology, Far Eastern Zone Research Veterinary Institute, 112 Severnaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation; Assistant of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Epizootology and Microbiology, Far Eastern State Agrarian University, 86 Politekhnikeskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation; e-mail: kseniya-kos1997@yandex.ru

ORCID: 0009-0005-6247-0280 SPIN-code: 9056-4692

Irkhina Vera Konstantinovna — Researcher of the Department of Animal Husbandry and Poultry Farming, Far Eastern Zone Research Veterinary Institute, 112 Severnaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation; e-mail: dalznividv@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4553-7189 SPIN-code: 7893-0109