

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-139-157

УДК 619.798.2. 612.06

## АКТИВНОСТЬ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ КИСЛОРОДА У ЛОШАДЕЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*О.А. Коленчукова, Л.В. Степанова, А.С. Федотова,  
А.В. Коломейцев, А.В. Макаров*

*Целью исследования являлось изучение активности свободных радикалов кислорода у спортивных лошадей до и после физических нагрузок разной интенсивности. Для этого у 21 спортивной лошади тракененской породы со специализацией «выездка» в возрасте от 4 до 18 лет отбирались нейтрофильные гранулоциты, сыворотка крови и слюна. Тестирование лошадей проводили до и после тренировок с низкой, средней и высокой интенсивностями. Определяли частоту дыхательных движений, сердечных сокращений и электрокардиограмму. Гематологический и биохимический анализ крови лошадей проводили по общепринятой методике. Первичные, вторичные и третичные радикалы кислорода в образцах оценивали с помощью хемилюминесцентного анализа. В результате отмечали повышенную активность оксидантной и антиоксидантной ферментативных систем при минимальной и средней нагрузках и антиоксидантной системы при максимальной физической нагрузке. При постепенном повышении физической активности происходит адаптация организма лошадей к испытываемым нагрузкам и, в результате, не происходит изменения активности свободных радикалов (прооксидантов и оксидантов). При этом систолический показатель лошадей – зубец Р, достоверно повышен для физической нагрузки малой интенсивности относительно показателей средней интенсивности. Результаты гематологических и биохимических исследований крови находились в диапазоне физиологической нормы до и после тренировок. При этом количество гемоглобина повышалось на большую величину при физической нагрузке малой интенсивности и на меньшую величину – при высокой интенсивности. Количество эритроцитов снижалось с повышением интенсивности физической нагрузки, а количество лейкоцитов, наоборот, возрастало. Выявлено повышение общего белка и снижение концентрации глюкозы с ростом интенсивности физической нагрузки.*

**Ключевые слова:** трокены; ЧСС; ЧДД; физическая нагрузка; хемилюминесценция; свободные радикалы кислорода

*Для цитирования.* Коленчукова О.А., Степанова Л.В., Федотова А.С., Коломейцев А.В., Макаров А.В. Активность свободных радикалов кислорода у лошадей при физических нагрузках разной интенсивности // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 139-157. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-139-157

## ACTIVITY OF OXYGEN RADICALS IN HORSES UNDER PHYSICAL LOADS OF DIFFERENT INTENSITIES

**O.A. Kolenchukova, L.V. Stepanova, A.S. Fedotova,  
A.V. Kolomeytsev, A.V. Makarov**

*The aim of the study was to study the activity of prooxidants, oxidants and antioxidants in sports horses before and after intense physical activity of varying intensity. Neutrophilic granulocytes, blood serum and saliva were collected from 21 dressage Trakehner sports horses aged 4 to 18 years. Horses were tested before and after training at different intensities (low, medium and high). Respiratory rate, heart rate, electrocardiogram, hematological and biochemical blood parameters were determined. Primary, secondary and tertiary oxygen radicals in the samples were assessed using chemiluminescence analysis. As a result of the study, an increased activity of the oxidative and antioxidant enzymatic systems was revealed at minimum and medium loads and of the antioxidant system at maximum physical exertion. Horses adapt to the increased physical activity. As a result, there is no change in the activity of free radicals (prooxidants and oxidants). At the same time, the systolic indicator of horses, the P wave, was significantly increased with low physical activity relative to the indicators of average intensity. Hematological and biochemical blood parameters before and after training were within the physiological norm. The amount of hemoglobin was higher at low exercise and lower at high exercise. The number of erythrocytes decreased with increasing intensity of physical activity, and the number of leukocytes increased. An increase in total protein and a decrease in glucose concentration with an increase in the intensity of physical activity were revealed.*

**Keywords:** trokens; RR; HR; exercise; chemiluminescence; oxygen radicals

**For citation.** Kolenchukova O.A., Stepanova L.V., Fedotova A.S., Kolomeytsev A.V., Makarov A.V. Activity of oxygen radicals in horses under physical loads of different intensities. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 139-157. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-139-157

### **Обоснование**

Спортивные лошади подвергаются значительным перегрузкам в процессе тренировки и, особенно в период соревнований, что может привести к различным расстройствам физиологического состояния и развитию патологий [7, 8, 12, 17].

Для профилактики и коррекции экстремальных перегрузок необходима разработка и использование новых методов исследования физиологических параметров организма животных. К таким методам можно отнести биофизическое тестирование [9]. Биофизические методы разработаны для комплексной оценки физиологического состояния организма и дают возможность сделать вывод о наличии или отсутствии в клетках глубоких метаболических изменений [18, 21]. Также важную роль играют процессы адаптации спортивной лошади к физическим нагрузкам различного объема и интенсивности. При этом биофизические методы позволяют отследить малейшие сдвиги в окислительно-восстановительных реакциях в клетках. Таким образом, на сегодняшний момент в спортивном коневодстве актуальным является оценка уровня тренированности и факторы, влияющие на работоспособность лошадей для предотвращения перегрузок, которые могут привести к патологиям [3, 13, 14, 19].

Адаптационная перестройка организма влияет на уровень его функциональной активности. Одним из ее критериев является баланс в работе окислительно-восстановительных реакций, в результате которых образуются свободные радикалы кислорода и липидов [1, 2, 15]. При этом свободные радикалы оказывают обширное цитотоксическое воздействие, повреждая мембраны и разрушая генетический аппарат клетки [11, 20]. Изменение метаболических реакций в организме под влиянием экстремальных физических нагрузок может отражаться на составе слюны и плазмы лошади [3, 4, 5, 6, 10, 16].

### **Цель**

Изучение активности свободных радикалов кислорода у спортивных лошадей до и после физических нагрузок разной интенсивности.

### **Материалы и методы**

Объектами являлись нейтрофильные гранулоциты, сыворотка крови и слюна, отобранные у 21 спортивной лошади тракененской породы со специализацией «выездка» в возрасте от 4 до 18 лет до и после физической нагрузки. Нейтрофильные гранулоциты были выделены из цельной крови. Лошади содержались в стандартных условиях учебно-спортивного комплекса коне-

водства Красноярского государственного аграрного университета (ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ). Тестирование лошадей, сбор их слюны и крови проводили до и после тренировок с низкой, средней и высокой интенсивностями.

Физическая нагрузка низкой интенсивности включала тренировку лошади в течение часа, средней интенсивности – в течение полутора часов и высокой интенсивности – в течение двух часов на корде или под седлом. Программа тренировок включала в себя следующие этапы: на свободном поводу, в сборе на рыси с включением боковых элементов, сокращение и раздвижение аллюров и переходы из одного аллюра в другой, заминку на рыси на длинном поводу, шаг.

Функциональные показатели организма лошадей определяли по частоте дыхательных движений (ЧДД), частоте сердечных сокращений (ЧСС) и электрокардиограмме (ЭКГ). ЧДД определяли визуально, оценку ЧСС проводили по электрокардиограмме (ЭКГ) на электрокардиографе ЭКЗТ-01-Р-Д («Монитор», Россия). Снятие ЭКГ проводили в трех стандартных и трех усиленных отведениях от конечностей. Анализ ЭКГ лошадей проводили по общепринятой методике, включающей в себя определение характера сердечного ритма; систолический показатель желудочков (СПЖ); высоту и ширину зубцов и интервалов [8].

Гематологический анализ крови лошадей проводили по общепринятой методике с подсчетом количества эритроцитов и лейкоцитов в камере Горяева, содержание гемоглобина – по методу Сали. Биохимический анализ сыворотки крови проводили по общепринятой методике, тестировали содержание белка и уровень глюкозы [16].

Первичные (Супероксидный анион-радикал) и вторичные ( $H_2O_2$ ,  $OH$ ,  $IO_2$ ,  $NSIO$ ) радикалы кислорода в нейтрофильных гранулоцитах оценивали с помощью люцигенин- и люминол-зависимой хемилюминесценции (ХЛ) [4]. Нейтрофильные гранулоциты выделяли в двойном градиенте фиколл-урографин. Далее отмывали в растворе Хенкса (без фенолового красного) дважды по 10 мин при 500g. Клетки разводили в 1 мл Хенкса для дальнейшего подсчета (необходимое количество клеток  $2 \cdot 10^6$  /мл).

Для проведения хемилюминесцентного анализа использовали активаторы ХЛ (люминол и люцигенин в концентрации 100 мкг/мл); донорскую сыворотку (группа крови АВ, резус-фактор отрицательный), раствор Хенкса (без фенолового красного), зимозан как индуктор респираторного взрыва. Проба включала: 200 мкл взвеси нейтрофильных гранулоцитов, 20 мкл донорской сыворотки, 240 мкл раствора Хенкса, 50 мкл люминола или люцигенина (спонтанная реакция) и 40 мкл зимозана (индуцирован-

ная реакция). Хемилюминесцентный анализ осуществляли при помощи анализатора «CL3604» в течение 90 мин. Определяли величину  $T_{max}$  (максимальное время),  $I_{max}$  (максимальная интенсивность),  $S_{max}$  (площадь под кривой) и ИА (индекс активации) соотношение  $S_{max}$  зимозан-индуцированной реакции /  $S_{max}$  спонтанной реакции для каждого показателя.

Концентрацию каталазы (антиоксиданты) в сыворотке крови и слюне оценивали с помощью люминол- $H_2O_2$ -зависимой хемилюминесценции. Хемилюминесцентное исследование проводили на планшетном люминометре «TriStar LB 941», производства Berthold. Проба включала: 200 мкл слюны, 25 мкл люминола. После фиксации фонового свечения автоматически впрыскивалось 25 мкл 3%  $H_2O_2$  (источник свободных радикалов). Измерение ХЛ проходило в течение 5 мин. Определяли величину  $T_0$  (начальное время),  $T_{max}$  (максимальное время выхода на пик),  $I_{max}$  (максимальная интенсивность) и  $S_{max}$  (площадь под кривой) для каждого показателя.

По результатам исследования формировали базу данных в пакете электронных таблиц MS Excel 7,0 и осуществляли статистический анализ в пакете прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2014). Достоверность различий до и после физической нагрузки определяли по критерию Вилкоксона ( $p < 0,05$ ).

## Результаты

Анализ первого этапа минимальной физической нагрузки показал увеличение таких физиологических параметров, как ЧСС и ЧДД после нагрузки, относительно показателей, полученных в покое (рис. 1).

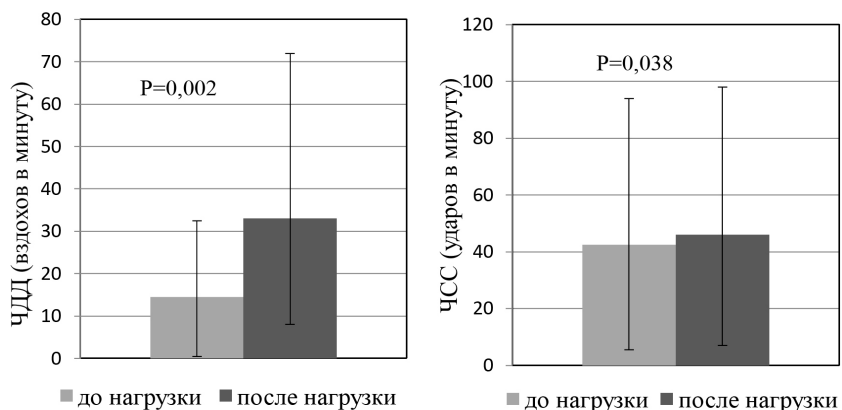
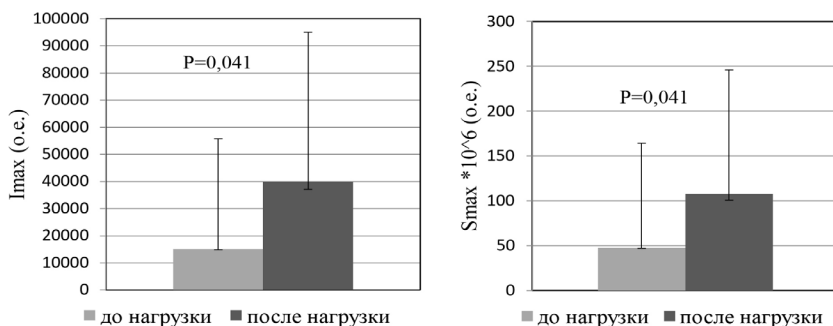


Рис. 1. ЧДД и ЧСС у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Результаты исследования проводящей системы сердца показали, что сердечный ритм исследуемых лошадей оставался синусовым регулярным. До начала тренировок электрокардиологические показатели лошадей соответствовали средним нормативным показателям.

Физическая нагрузка малой интенсивности повышала амплитуды зубца Р до 4,0 [3,0; 4,0] мм и зубца R до 13,0 [12,0; 14,0] мм относительно показателей до тренировок. Также отмечено уменьшение интервалов P-Q до 0,07 [0,06; 0,1] с, QRS до 0,06 [0,06; 0,08] с, QPST до 0,5 [0,5; 0,5] с, TP до 0,6 [0,5; 0,8] с, RR до 1,3 [1,0; 1,5] с. Систолический показатель желудочков (СПЖ) возрастал до 36,1 [31,1; 46,2] %. Таким образом мы видим изменение физиологического состояния спортивных лошадей под влиянием физической нагрузки низкой интенсивности (рис. 1).

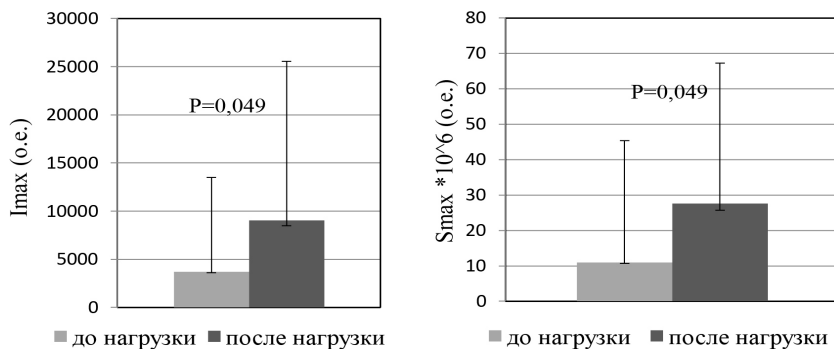
Хемилюминесцентное определение функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов базировалось на характеристике базовой активности и резервных возможностей клеток при воздействии на них неспецифического индуктора в виде зимозана. Отдельно исследована способность нейтрофильных гранулоцитов к образованию первичных радикалов кислорода (супероксидного аниона) при активации люцигенином и образование общего пула вторичных свободных радикалов кислорода при активации люминолом. Супероксидный анион-радикал образуется в результате ферментативных реакций и является источником для образования вторичных радикалов ( $H_2O_2$ , OH,  $1O_2$ , HClO), выделяемых фагоцитами.



**Рис. 2.** Показатели  $I_{max}$  и  $S_{max}$  спонтанного люцигенин-зависимого хемилюминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

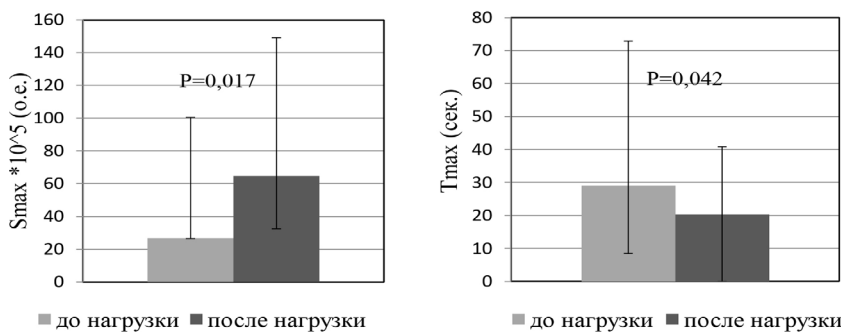
Было обнаружено статистически значимое повышение интенсивности (в 2,6 и 2,4 раза) и площади (в 2,2 и 2,5 раза) спонтанного люцигенин- и

люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения после минимальных физических упражнений (рис. 2 и 3 соответственно) относительно показателей, полученных до нагрузки. Результаты могут указывать на активизацию выработки первичных и вторичных радикалов кислорода после тренировочной нагрузки у спортивных лошадей.



**Рис. 3.** Показатели  $I_{max}$  и  $S_{max}$  спонтанного люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Далее, мы провели исследование антиоксидантов в сыворотке крови у лошадей до и после физической нагрузки, и обнаружили, статистически значимое повышение площади хемилюминесцентной кривой (в 2,5 раза) и снижение времени выхода на пик (в 1,2 раза) в люминол-зависимом свечении в присутствии  $H_2O_2$  после физической нагрузки относительно состояния покоя (рис. 4).

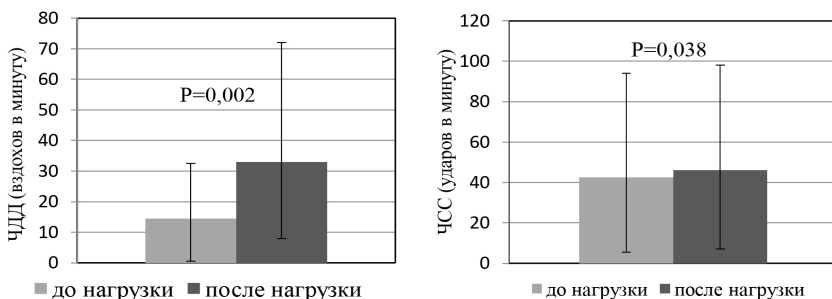


**Рис. 4.** Показатели  $S_{max}$  и  $T_{max}$  люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения в присутствии  $H_2O_2$  в сыворотке крови у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Полученные результаты указывают на повышение активности антиоксидантов в сыворотке крови после нагрузки у спортивных лошадей.

Таким образом, при минимальной физической нагрузке у спортивных лошадей наблюдается активизация метаболических процессов, приводящая к образованию прооксидантов, оксидантов и антиоксидантов, направленная на интенсификацию физиологических процессов в организме.

Исследование физиологических параметров спортивных лошадей при средней физической нагрузке показало увеличение таких характеристик, как частота сердечных сокращений и дыхательных движений после нагрузки относительно измерений в покое (рис. 5). Результаты исследования проводящей системы сердца показали, что физическая нагрузка средней интенсивности не изменяла амплитуду зубца P (2,0 [2,0; 2,0] мм) и повышала амплитуду зубца R до 11,0 [7,0; 12,0] мм относительно показателей до тренировок. Отмечено также укорочение интервалов QPST до 0,4 [0,4; 0,5] с, TP – до 0,4 [0,3; 0,7] с, RR – до 1,2 [1,1; 1,5] с. СПЖ возрастал до 35,9 [33,3; 37,0] %.

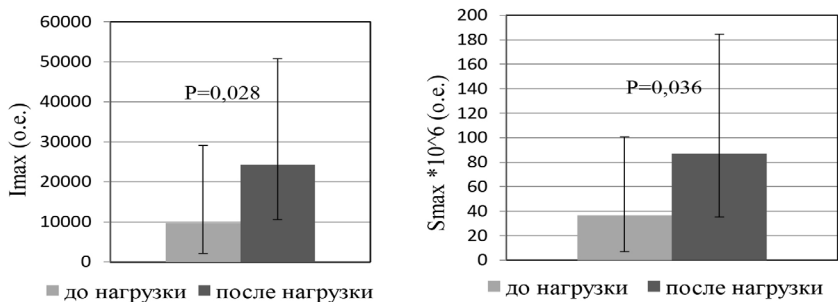


**Рис. 5.** ЧДД и ЧСС у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

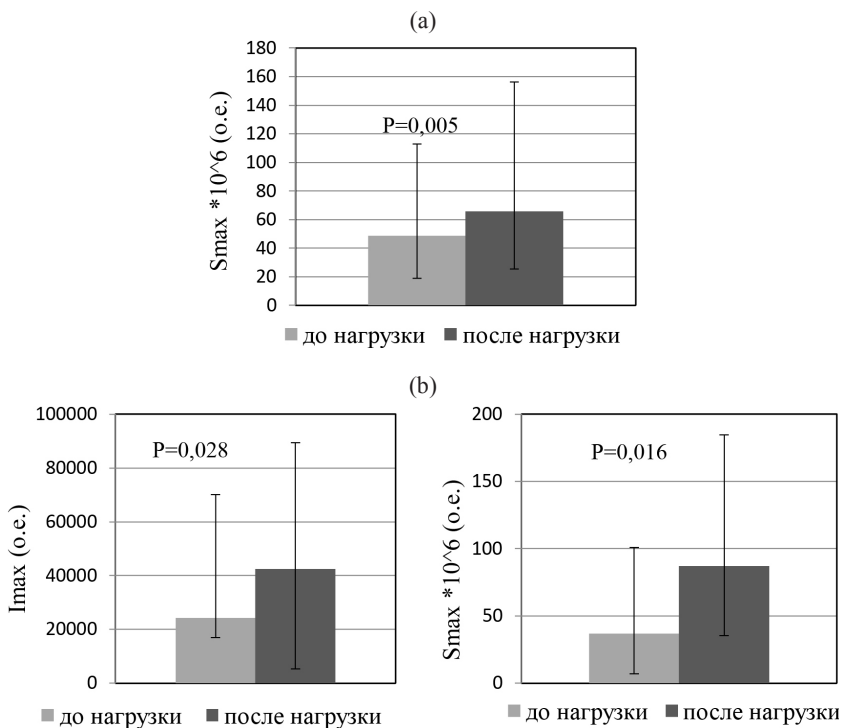
Исследование хемилюминесцентных параметров при физической нагрузке среднего уровня показало увеличение интенсивности (2,4 и 2,5 раза) и площади под кривой (2,4 и 1,2 раза) в зимозан-индуцированном люцигенин и люминол-зависимом процессе (рис. 6 и 7 соответственно), а также площади под кривой спонтанной реакции. Что также указывает на активизацию выработки и выброс первичных и вторичных радикалов кислорода в организме спортивных лошадей при увеличении физической нагрузки.

Исследование антиоксидантной активности в сыворотке крови и слюне у лошадей до и после средней физической нагрузки; также показало статистически значимое повышение интенсивности (в 3 раза) и площади (в 4,8 и 17 раз) в люминол-зависимом хемилюминесцентном свечении в присутствии  $H_2O_2$  относительно состояния покоя (рис. 8).



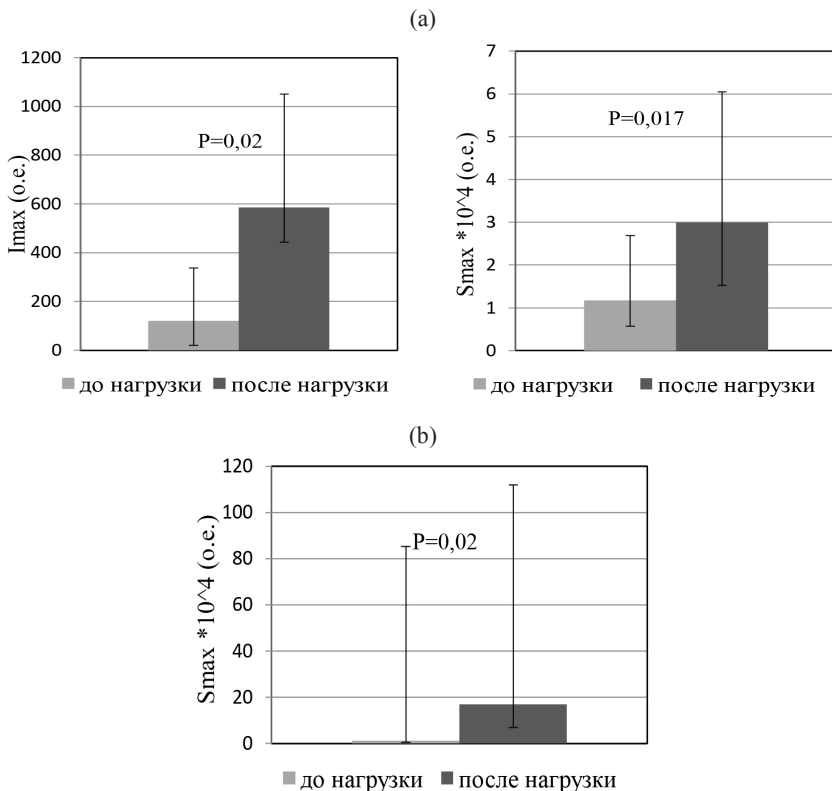


**Рис. 6.** Показатели  $I_{max}$  и  $S_{max}$  зимозан-индуцированного люцигенин-зависимого хемилюминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности



**Рис. 7.** Показатели  $I_{max}$  и  $S_{max}$  спонтанного (а) и зимозан-индуцированного (б) люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

При средней нагрузке активность антиоксидантных радикалов у спортивных лошадей продолжала увеличиваться после физических упражнений.



**Рис. 8.** Показатели  $I_{max}$  и  $S_{max}$  люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения в присутствии  $H_2O_2$  в слюне (а) и в сыворотке (б) у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

Анализ физической нагрузки высокой интенсивной показал увеличение частоты сердечных сокращений и дыхательных движений после нагрузки относительно состояния покоя (рис. 9).

В результате исследования проводящей системы сердца обнаружено, что сердечный ритм исследуемых лошадей оставался синусовым регулярным. До начала тренировок электрокардиологические показатели лошадей соответствовали средним нормативным показателям. Физическая нагрузка

высокой интенсивности повышала амплитуды зубца Р до 4,0 [4,0; 4,0] мм и зубца R до 24,0 [23,0; 26,0] мм относительно показателей до тренировок.

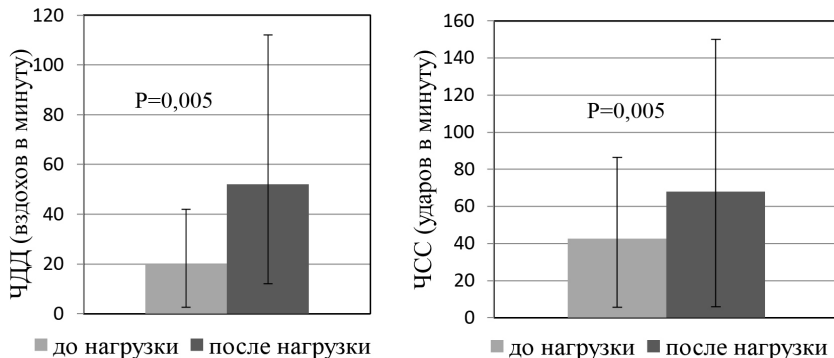


Рис. 9. ЧДД и ЧСС у лошадей при физической нагрузке высокой интенсивности

Также отмечено уменьшение интервалов TP до 0,2 [0,2; 0,2] с, RR – до 0,9 [0,8; 0,9] с. СПЖ возрастал до 49,3 [31,0; 46,9] %. Исследование интенсивности и площади спонтанного люцигенин- и люминол-зависимого хемилюминесцентного процесса до и после интенсивных физических упражнений не показали достоверных изменений. Таким образом, при повышении физической нагрузки происходит адаптация организма спортивных лошадей.

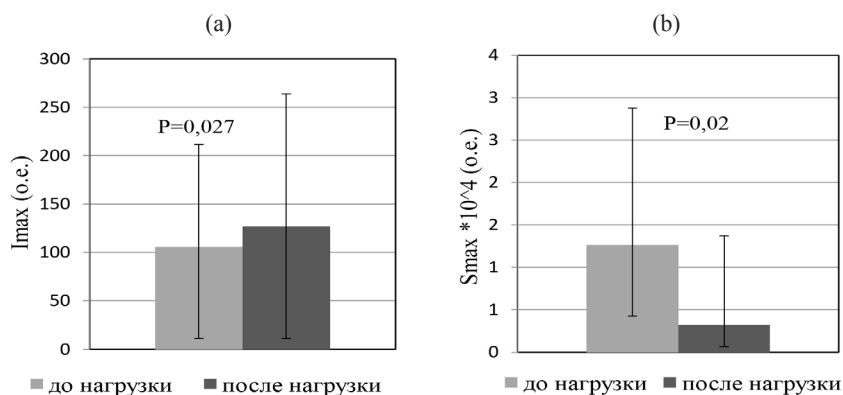


Рис. 10. Показатели I<sub>max</sub> и S<sub>max</sub> люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения в присутствии H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в слюне (а) и в сыворотке (б) у лошадей при физической нагрузке высокой интенсивности

Оценка антиоксидантных ферментов в сыворотке крови и слюне до и после максимальной нагрузки показала статистически значимое повышение интенсивности люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения (в 1,1 и 1,3 раза соответственно) после физических упражнений относительно состояния покоя (рис. 10). Антиоксидантные радикалы продолжают активно вырабатываться.

### **Заключение**

В результате исследования выявлено, что физическая нагрузка высокой интенсивности влияла на изменения систолических и диастолических показателей лошадей. Так, выявлено достоверное повышение амплитуды зубца P ( $p=0,0043$ ) и зубца R ( $p=0,0043$ ), достоверное сокращение интервалов P-Q ( $p=0,0043$ ), TP ( $p=0,017$ ), RR ( $p=0,017$ ) относительно показателей средней интенсивности. Систолический показатель лошадей - зубец P, достоверно повышен ( $p=0,004$ ) для физической нагрузки малой интенсивности относительно показателей средней интенсивности.

Результаты гематологических и биохимических исследований крови показали, что исследуемые параметры находились в диапазоне физиологической нормы как до тренировок, так и после физических нагрузок. Определено, что количество гемоглобина повышалось на большую величину (до 14,0 [11,8; 15,6] г/%) при физической нагрузке малой интенсивности и на меньшую величину (до 13,1 [11,8; 13,8] г/%) – при высокой интенсивности. Количество эритроцитов снижалось с повышением интенсивности физической нагрузки, а количество лейкоцитов, наоборот, возрастало. Выявлено повышение общего белка и снижение концентрации глюкозы с ростом интенсивности физической нагрузки.

Проанализировав действие физической нагрузки разной интенсивности на уровень выработки свободных радикалов у спортивных лошадей можно отметить повышенную активность оксидантной и антиоксидантной ферментативных систем при минимальной и средней нагрузках и антиоксидантной системы при максимальной физической нагрузке. При постепенном повышении физической активности происходит адаптация организма спортивных лошадей к испытываемым физическим нагрузкам и, в результате, не происходит изменения выработки свободных радикалов (прооксидантов и оксидантов).

Таким образом, интенсивные физические нагрузки приводят к нарушению гомеостаза, который поддерживается сбалансированной работой защитных систем организма от оксидативного стресса, в частности, ан-

тиоксидантной, тиолдисульфидной и системой оксида азота. Исследование данных показателей позволит понять механизмы адаптации организма спортивных лошадей к физическим нагрузкам различного объема и интенсивности. Биофизические методы дают возможность для изучения активности оксидантов и антиоксидантов при различных физиологических процессах и могут быть использованы для оценки и корректировки тренировочных программ спортивных лошадей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 19-41-000001.*

#### **Список литературы**

1. Андрийчук А.В., Ткаченко Г.М., Ткачова И.В. Окислительный стресс у спортивных лошадей украинской верховой и голштинской пород в динамике физических нагрузок // Научный журнал «Известия КГТУ». 2015. №39. С. 97-107. [https://klgtu.ru/upload/science/magazine/news\\_kstu/2015\\_39/andriychuk.pdf](https://klgtu.ru/upload/science/magazine/news_kstu/2015_39/andriychuk.pdf)
2. Антонов А.В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у троеборных лошадей в соревновательный период // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 6. С. 47-49. <https://www.agriscience.ru/journal/0131-6397/2010/6/47-49>
3. Бехало В.А., Сысолятина Е.В., Нагурская Е.В. Регуляция врожденного иммунного ответа в очаге хронического воспаления // Иммунология. 2009. №3. С. 184-189.
4. Винник Ю.С., Дунаевская С.С., Портнягин Е.В., Макарская Г.В. Динамика продукции активных форм кислорода лейкоцитов крови у больных острым панкреатитом // Сибирское медицинское обозрение. 2010. №1. С. 35-38.
5. Нестерова И.В., Швыдченко И.Н., Роменская В.А. и др. Нейтрофильные гранулоциты – ключевые клетки иммунной системы // Аллергология и иммунология. 2008. Т. 9, № 4. С. 432-435.
6. Benbarek H., Ayad A., Deby-Dupont G., Boukraa L., Sertejn D. Modulatory effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on the luminol and lucigenin amplified chemiluminescence of equine neutrophils // Vet Res Commun, 2012, no. 36, pp. 29–33. <https://doi.org/10.1007/s11259-011-9507-5>
7. Cornelis M. B., Houterman W., Ploeg M. de Bruijn et al. Monitoring training response in young Friesian dressage horses using two different standardised exercise tests (SETs) // BMC Veterinary Research, 2017, no. 13, pp. 49. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0969-8>

8. Horn R, Bertin FR. Evaluation of combined testing to simultaneously diagnose pituitary pars intermedia dysfunction and insulin dysregulation in horses // *J Vet Intern Med.*, 2019, vol. 33, no. 5, pp. 2249-2256. <https://doi.org/10.1111/jvim.15617>.
9. Ireland JL, McGowan CM. Epidemiology of pituitary pars intermedia dysfunction: A systematic literature review of clinical presentation, disease prevalence and risk factors // *Vet J.*, 2018, no. 235, pp. 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.03.002>
10. Stacy L. A., Baljit S. Equine neutrophils and their role in ischemia reperfusion injury and lung inflammation // *Cell and Tissue Research*, 2018, no. 371, pp. 639–648. <https://doi.org/10.1007/s00441-017-2770-1>
11. Maged R., Sabry A., Mohamed E. Prognostic significance of lipid peroxide and antioxidant levels in draft horses with peritonitis // *Comp ClinPathol*, 2011, no. 20, pp. 433–439. <https://doi.org/10.1007/s00580-010-1013-6>
12. Munsters CC, van Iwaarden A, van Weeren R, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM. Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions // *Vet J.*, 2014, vol. 202, no. 1, pp. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.07.019>
13. McFarlane D, Cribb AE. Systemic and pituitary pars intermedia antioxidant capacity associated with pars intermedia oxidative stress and dysfunction in horses // *Am J Vet Res.*, 2005, vol. 66, no. 12, pp. 2065-2072. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2005.66.2065>
14. Niedźwiedz A, Nicpoń J, Zawadzki M, Służewska-Niedźwiedz M, Januszewska L. The influence of road transport on the activities of glutathione reductase, glutathione peroxidase, and glutathione-S-transferase in equine erythrocytes // *Vet Clin Pathol.*, 2012, vol. 41, no. 1, pp. 123-126. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2011.00396.x>
15. Niedzwiedz A., Kubiak K., Nicpon J. Plasma total antioxidant status in horses after 8-hours of road transportation // *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2013, no. 55, pp. 58. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-58>
16. Padalino B, Raidal SL, Carter N, Celi P, Muscatello G, Jeffcott L, de Silva K. Immunological, clinical, haematological and oxidative responses to long distance transportation in horses // *Res Vet Sci.*, 2017, no. 115, pp. 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.024>
17. Spelta CW. Equine pituitary pars intermedia dysfunction: current perspectives on diagnosis and management // *Vet Med (Auckl.)*, 2015, vol. 20, no. 6, pp. 293-300. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S74191>
18. Takahashi T, Kasashima Y, Eto D, Mukai K, Hiraga A. Effect of uphill exercise on equine superficial digital flexor tendon forces at trot and canter // *Equine Vet*

- J Suppl., 2006, no. 36, pp. 435-439. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05583.x>
19. Winkelmayr B, Peham C, Frühwirth B, Licka T, Scheidl M. Evaluation of the force acting on the back of the horse with an English saddle and a side saddle at walk, trot and canter // *Equine Vet J Suppl.*, 2006, no. 36, pp. 406-410. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05577.x>
  20. Żak A, Siwińska N, Chelmecka E, Bazanów B, Romuk E, Adams A, Niedźwiedz A, Stygar D. Effects of Advanced Age, Pituitary Pars Intermedia Dysfunction and Insulin Dysregulation on Serum Antioxidant Markers in Horses // *Antioxidants (Basel)*, 2020, vol. 9, no. 5, 444. <https://doi.org/10.3390/antiox9050444>
  21. Zak A, Siwinska N, Elzinga S, Barker VD, Stefaniak T, Schanbacher BJ, Place NJ, Niedzwiedz A, Adams AA. Effects of advanced age and pituitary pars intermedia dysfunction on components of the acute phase reaction in horses // *Domest Anim Endocrinol.*, 2020, no. 72, 106476. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106476>

### *References*

1. Andriychuk A.V., Tkachenko G.M., Tkachova I.V. Vartovnyk Perekisnay rezistentnost eritrozitov I sodержanie markerov oksislitel'nogo stressa v krovi loshadey yacrainskoy verchovoy porody v dinamike fizicheskikh nagruzok [The resistance of erythrocytes to hydrogen peroxide and oxidative stress markers in the blood of ukrainian warmblood horses during exercises]. *Izvestia KGTU*, 2015, no. 39, pp. 97-107. [https://klgtu.ru/upload/science/magazine/news\\_kstu/2015\\_39/andriychuk.pdf](https://klgtu.ru/upload/science/magazine/news_kstu/2015_39/andriychuk.pdf)
2. Antonov A.V. Perecisnoe okislenie lipidov I antioksidantnaya zashita u troebornich loshadey v sorevnovatel'ny period [Lipid peroxidation and antioxidant protection in triathlon horses during competitiveness period]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2010, no. 6, pp. 47-49. <https://www.agriscience.ru/journal/0131-6397/2010/6/47-49>
3. Bekhalo V.A., Sysolyatina E.V., Nagurskaya E.V. Reguliacya vrozdnennogo immunnogo otveta v ochage chronicheskogo vospaleniya [Regulation of innate immune response]. *Immunologiya [Immunology]*, 2009, no. 3, pp. 184-189.
4. Vinnik Yu. S., Dunaevskaya S. S., Portnyagin E.V. Dinamica produkcii aktivnih form kisloroda limfocitami krovi u bolnih ostrim pancreotitom [Production of active oxygen forms by blood lymphocytes in patients with acute pancreatitis]. *Sibirskoe medicinskoe obozrenie [Siberian Medical Review]*, 2010, no. 1, pp. 35-38.
5. Nesterova I.V., Shvidchenko I.N., Romenskaya V.A. at all. Neutrofilnie granulociti – clucheveie kletki immunoy sistemi [Neutrophil granulocytes-key cells

- of the immune system]. *Allergologia i Immunologia [Allergology and Immunology]*, 2008, vol. 9, no. 4, pp. 432-435.
6. Benbarek H., Ayad A., Deby-Dupont G., Boukraa L., Sertejn D. Modulatory effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on the luminol and lucigenin amplified chemiluminescence of equine neutrophils. *Vet Res Commun*, 2012, no. 36, pp. 29–33. <https://doi.org/10.1007/s11259-011-9507-5>
  7. Cornelis M. B., Houterman W., Ploeg M. de Bruijn et al. Monitoring training response in young Friesian dressage horses using two different standardised exercise tests (SETs). *BMC Veterinary Research*, 2017, no. 13, pp. 49. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0969-8>
  8. Horn R, Bertin FR. Evaluation of combined testing to simultaneously diagnose pituitary pars intermedia dysfunction and insulin dysregulation in horses. *J Vet Intern Med.*, 2019, vol. 33, no. 5, pp. 2249-2256. <https://doi.org/10.1111/jvim.15617>
  9. Ireland JL, McGowan CM. Epidemiology of pituitary pars intermedia dysfunction: A systematic literature review of clinical presentation, disease prevalence and risk factors. *Vet J.*, 2018, no. 235, pp. 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.03.002>
  10. Stacy L. A., Baljit S. Equine neutrophils and their role in ischemia reperfusion injury and lung inflammation. *Cell and Tissue Research*, 2018, no. 371, pp. 639–648. <https://doi.org/10.1007/s00441-017-2770-1>
  11. Maged R., Sabry A., Mohamed E. Prognostic significance of lipid peroxide and antioxidant levels in draft horses with peritonitis. *Comp ClinPathol*, 2011, no. 20, pp. 433–439. <https://doi.org/10.1007/s00580-010-1013-6>
  12. Munsters CC, van Iwaarden A, van Weeren R, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM. Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions. *Vet J.*, 2014, vol. 202, no. 1, pp. 11-9. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.07.019>
  13. McFarlane D, Cribb AE. Systemic and pituitary pars intermedia antioxidant capacity associated with pars intermedia oxidative stress and dysfunction in horses. *Am J Vet Res.*, 2005, vol. 66, no. 12, pp. 2065-2072. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2005.66.2065>
  14. Niedźwiedz A, Nicpoń J, Zawadzki M, Służewska-Niedźwiedz M, Januszewska L. The influence of road transport on the activities of glutathione reductase, glutathione peroxidase, and glutathione-S-transferase in equine erythrocytes. *Vet Clin Pathol.*, 2012, vol. 41, no. 1, pp. 123-126. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2011.00396.x>
  15. Niedzwiedz A., Kubiak K., Nicpon J. Plasma total antioxidant status in horses after 8-hours of road transportation. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2013, no. 55, pp. 58. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-58>



16. Padalino B, Raidal SL, Carter N, Celi P, Muscatello G, Jeffcott L, de Silva K. Immunological, clinical, haematological and oxidative responses to long distance transportation in horses. *Res Vet Sci.*, 2017, no. 115, pp. 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.024>
17. Spelta CW. Equine pituitary pars intermedia dysfunction: current perspectives on diagnosis and management. *Vet Med (Auckl)*, 2015, vol. 20, no. 6, pp. 293-300. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S74191>
18. Takahashi T, Kasashima Y, Eto D, Mukai K, Hiraga A. Effect of uphill exercise on equine superficial digital flexor tendon forces at trot and canter. *Equine Vet J Suppl.*, 2006, no. 36, pp. 435-439. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05583.x>
19. Winkelmayr B, Peham C, Frühwirth B, Licka T, Scheidl M. Evaluation of the force acting on the back of the horse with an English saddle and a side saddle at walk, trot and canter. *Equine Vet J Suppl.*, 2006, no. 36, pp. 406-410. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05577.x>
20. Żak A, Siwińska N, Chełmecka E, Bazanów B, Romuk E, Adams A, Niedzwiedz A, Stygar D. Effects of Advanced Age, Pituitary Pars Intermedia Dysfunction and Insulin Dysregulation on Serum Antioxidant Markers in Horses. *Antioxidants (Basel)*, 2020, vol. 9, no. 5, 444. <https://doi.org/10.3390/antiox9050444>
21. Zak A, Siwinska N, Elzinga S, Barker VD, Stefaniak T, Schanbacher BJ, Place NJ, Niedzwiedz A, Adams AA. Effects of advanced age and pituitary pars intermedia dysfunction on components of the acute phase reaction in horses. *Domest Anim Endocrinol.*, 2020, no. 72, 106476. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106476>

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Коленчукова Оксана Александровна**, д.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточной физиологии и патологии *ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» - обособленное подразделение Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера*  
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация  
*Kalina-chyikova@mail.ru*

**Степанова Людмила Васильевна**, к.б.н., доцент кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии *ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»*

*пр. Свободный, 79, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация  
slyudmila@mail.ru*

**Федотова Арина Сергеевна**, к.б.н., доцент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных

*ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»  
пр. Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация  
krasfas@mail.ru*

**Коломейцев Александр Владимирович**, к.б.н., доцент, начальник управления науки и инноваций

*ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»  
пр. Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация  
avk@mail.ru*

**Макаров Андрей Витальевич**, к.б.н., инженер-микробиолог, Научно-исследовательский испытательный центр

*ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»  
пр. Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация  
andmak83@yandex.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Oksana A. Kolenchukova**, Dr. Sc. (Biology), Professor

*Scientific Research Institute of Medical Problems of the North FRC KSC  
SB Russian academy of Sciences*

*3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation  
SPIN-code: 8008-5580*

*ORCID: 0000-0001-9552-447X*

*Kalina-chyikova@mail.ru*

**Lyudmila V. Stepanova**, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof.

*Siberian Federal University*

*79, Svobodnii Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation  
slyudmila@mail.ru*

*SPIN-code: 7940-6589*

*ORCID: 0000-0001-5503-4898*

*ResearcherID: K-4146-2017*

---

**Arina S. Fedotova**, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Internal Non-contagious Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals  
*Krasnoyarsk State Agrarian University*  
*90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation*  
*krasfas@mail.ru*  
*SPIN-code: 3894-1792*  
*ORCID: 0000-0003-1630-2444*  
*ResearcherID: AAO-4090-2021*  
*Scopus Author ID: 57211158525*

**Alexander V. Kolomeytsev**, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Head of Science and Innovation Department  
*Krasnoyarsk State Agrarian University*  
*90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation*  
*avk@mail.ru*  
*ResearcherID: N-8808-2017*

**Andrey V. Makarov**, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Microbiologist Engineer  
Scientific Research and Testing Center  
*Krasnoyarsk State Agrarian University*  
*90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation*  
*andmak83@yandex.ru*  
*SPIN-code: 3736-6038*  
*ORCID: 0000-0002-2593-207x*  
*ResearcherID: AAN-7051-2021*