

Н. А. Панова, О. П. Пригожая

Динамика изменения количественных и функциональных показателей лейкоцитов при введении в рацион минеральных кормовых добавок

Аннотация.

Цель: комплексная оценка влияния хелатных форм микроэлементов на количественные и качественные показатели лейкоцитов в совокупности с процессами роста.

Материалы и методы. Экспериментальная часть проводилась на самцах лабораторных крыс. Было сформировано 2 однородных группы по 5 особей: опытная и контрольная. К основному рациону опытной группы была введена кормовая добавка "Хеламакс С". Эксперимент проводился в 3 этапа. На каждом из этапов были произведены замеры массы тела, а также забор крови с последующим исследованием лейкоцитов (общий подсчет лейкоцитов, выведение лейкограмм, а также анализ лейкоцитарных индексов). Забор крови проводили из хвостовой вены. Подсчет лейкоцитов осуществляли по общепринятой методике с помощью камеры Горяева. На каждом этапе эксперимента были выведены лейкограммы, после чего был произведен подсчет лейкоцитарных индексов.

Результаты. По завершении эксперимента отмечалось увеличение общего числа лейкоцитов с $5,95 \pm 0,12$ г/л до $7,47 \pm 0,32$ г/л в крови крыс на фоне применения минеральной добавки. Снижение абсолютного числа палочкоядерных нейтрофилов с $0,19 \pm 0,08$ Г/л до $0,11 \pm 0,04$ г/л, с одновременным повышением уровня сегментоядерных до $1,39 \pm 0,18$ г/л. У крыс опытной группы абсолютное количество лимфоцитов в крови увеличилось с $4,94 \pm 0,07$ г/л до $5,64 \pm 0,26$ г/л. Отмечается увеличение индекса соотношения нейтрофилов и лимфоцитов с $0,06 \pm 0,03$ до $0,26 \pm 0,02$ у особей опытной группы, а также уменьшение индекса ядерного сдвига с $0,32 \pm 0,09$ до $0,08 \pm 0,03$. Масса тела опытных крыс увеличилась с $368,40 \pm 20,27$ г до $534,40 \pm 13,74$ г.

Заключение. Введение минеральных добавок в рацион способствует улучшению количественных и качественных показателей лейкоцитов, стимулируя и регулируя их образование, дифференцировку, функционирование и апоптоз. Кроме того, минеральные вещества оказывают положительное влияние на иммунитет, повышая естественную резистентность организма. В совокупности с активизацией и регуляцией процессов обмена веществ это приводит к стимуляции роста организма и увеличению массы тела.

Ключевые слова: кровь; крысы; лейкограмма; лейкоцитарный индекс; лейкоциты; метаболизм; микроэлементы; хелаты.

Авторы:

Панова Н. А. — кандидат биологических наук, доцент; e-mail: panova_na@mail.ru;

Пригожая О. П. — e-mail: prigo.olga@gmail.com.

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины; 196084 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5.

Введение. Минеральные вещества являются неотъемлемой частью полноценного рациона животных. Они входят в состав ферментов, участвуют в реакциях окисления, являются катализаторами многих биохимических процессов в организме, принимая непосредственное участие в поддержании гомеостаза. При этом поступление минеральных веществ в организм осуществляется только извне: главным образом, с кормами, водой или с кормовыми добавками на основе макро- и микроэлементов.

При этом наиболее выгодными для усвоения являются хелатные формы макро- и микроэлементов. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с

солями минеральных веществ. Во-первых, именно хелатные соединения являются физиологически значимыми, так как их химическая структура сходна с таковой в организме (гемоглобин является хелатом железа). Во-вторых, будучи связанными с лигандом (чаще всего аминокислотой, пептидами или белком), они более эффективно всасываются в желудочно-кишечном тракте, так как минералы при этом находятся внутри кольца, что ограничивает их взаимодействие с другими веществами. Таким образом, это позволяет исключить влияние лекарственных средств, а также других минеральных веществ на всасывание друг друга. В-третьих, соли минеральных веществ мо-

гут вызывать раздражение слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, особенно у животных с патологиями пищеварительной системы, тогда как хелаты таким действием не обладают. Все эти факторы обуславливают широкое использование хелатных форм макро- и микроэлементов в ветеринарии [1; 2].

Будучи важной частью механизмов поддержания гомеостаза, микроэлементы влияют на обмен веществ в организме, на процессы роста и развития. Кроме того, имеются данные о влиянии микроэлементов на лейкоциты, что обуславливает их непосредственное участие в функционировании иммунной системы, защищая организм от антигенов и обеспечивая генетическое постоянство клеток.

Целью данного исследования является комплексная оценка влияния хелатных форм микроэлементов на количественные и качественные показатели лейкоцитов в совокупности с процессами роста.

Материалы и методы. Экспериментальная часть проводилась на самцах лабораторных крыс (*Rattus norvegicus*), чей возраст на момент начала эксперимента составлял 3 месяца. Было сформировано 2 однородных группы по 5 особей: опытная и контрольная. Ежедневный рацион обеих групп был следующим: 1. Корм полнорационный гранулированный для крыс 25 г/особь (эквивалентно 60 ккал/сутки); 2. Вода чистая питьевая в свободном доступе. К основному рациону опытной группы была введена кормовая добавка “Хеламакс С”, в состав которой входят 8 микроэлементов в хелатной форме (г/л): Fe – 13,0; Zn – 7,3; Mg – 3,8; Mn – 2,6; Cu – 1,3; Co – 0,24; Se – 0,13; J – 0,4. Препарат задавали ежедневно 1 раз в сутки по инструкции (0,2 мл на 10 кг массы тела). Начальная дозировка при средней массе особей опытной группы (385 ± 34 г) составила 0,008 мл. В дальнейшем дозировка корректировалась ежемесячно по результатам измерения массы тела. Эксперимент проводился в 3 этапа: первый этап 01.03.2024 (соответствует возрасту 3 месяца), а затем еще дважды с интервалами в 1 месяц (в четырех- и пятимесячном возрасте крыс соответственно). На каждом из этапов были произведены замеры массы тела, а также забор крови с последующим исследованием лейкоцитов (подсчет абсолютного и относительного количества лейкоцитов, выведение лейкограмм, а также анализ лейкоцитарных индексов).

Забор крови проводился из хвостовой вены. Перед забором кожу хвоста обрабатывали дезинфицирующим раствором, после чего с помощью иглы 21G отбирали кровь. Подсчет общего количества лейкоцитов осуществляли по обще-

принятой методике с помощью камеры Горяева. На каждом этапе эксперимента были выведены лейкограммы, после чего, на основании полученных данных, был произведен подсчет следующих лейкоцитарных индексов:

1. Кровно-клеточный показатель (ККП) = $(Э+ПН+СН)/(Л+М)$;

2. Реактивный ответ нейтрофилов (РОН) = $(ПН+СН)/((Л+М)*Э)$;

3. Лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс (ИЛГ) = $(Л*10)/(Э+ПН+СН)$;

4. Индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов (ИСНЛ) = $(ПН+СН)/Л$;

5. Индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ) = $Л/Э$;

6. Индекс соотношения нейтрофилов и эозинофилов (ИСНЭ) = $(ПН+СН)/Э$;

7. Индекс ядерного сдвига (ИСЯ) = $(Мет+ЮН+ПН)/СН$,

где: ЮН, ПН и СН – юные, палочкоядерные и сегментоядерные нейтрофилы, %; Э – эозинофилы, %; Л – лимфоциты, %; М – моноциты, %; Мет – метамиелоциты, %.

Результаты и обсуждение. На основании составленных лейкограмм и подсчета общего числа лейкоцитов в крови крыс были рассчитаны абсолютные и относительные количества различных групп клеток белой крови. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Проведя анализ полученных данных, было выявлено положительное влияние кормовой добавки, содержащей комплекс микроэлементов, на лейкоциты. В частности, отмечается достоверное ($p < 0,01$) увеличение общего числа лейкоцитов с $5,95 \pm 0,12$ г/л на первом этапе эксперимента до $7,47 \pm 0,32$ г/л на третьем этапе в крови крыс опытной группы по сравнению с контрольной.

Кроме того, следует отметить, что в крови крыс опытной группы наблюдается тенденция к снижению количества палочкоядерных нейтрофилов (с $0,19 \pm 0,08$ г/л на первом этапе до $0,11 \pm 0,04$ г/л на третьем этапе) в крови с одновременным достоверным повышением уровня сегментоядерных до $1,39 \pm 0,18$ г/л на момент окончания эксперимента. Несмотря на то, что в крови крыс контрольной группы также наблюдается повышение уровня сегментоядерных нейтрофилов, количество палочкоядерных остается на устойчиво высоком уровне, находясь на верхней границе нормы. При этом относительное и абсолютное количество сегментоядерных нейтрофилов в контрольной группе на момент окончания эксперимента все еще остается ниже нормы для данного вида животных. Данная закономерность в изменении соотношения нейтрофилов, вероятно,

обусловлена сегментацией палочкоядерных нейтрофилов в крови крыс опытной группы на этапе постмитотической дифференцировки. При этом палочкоядерные нейтрофилы созревают, превращаясь в сегментоядерные, что свидетельствует о завершенности гранулоцитопоэза [3; 4].

Предположительно, данные изменения могут быть связаны с микроэлементами, введенными в дополнение к основному рациону. Так, медь входит в состав гефестина и церулоплазмينا — белков, участвующих в метаболизме железа, способствуя его усвоению и использованию клетками организма. Железо, в свою очередь, участвует в тканевом дыхании, способствуя активизации процессов анаболизма и увеличению количества лейкоцитов в периферической крови. Кроме того, имеются данные о влиянии железа на процессы развития нейтрофилов в красном костном мозге. В частности, дефицит железа способен блокировать развитие нейтрофилов, приводя к их снижению в периферической крови [5; 6].

Следует также отметить значительные скачки в количестве моноцитов в периферической крови крыс контрольной группы в процессе эксперимента, тогда как в крови крыс опытной группы таких резких изменений не наблюдается, а абсолютное и относительное количество моноцитов находится на стабильно нормальном уровне, соответствующим референсным значениям для особей данного вида. Моноциты при гемопоэзе не образуют пула в красном костном мозге, а сразу же попадают в периферическую кровь. Таким образом, наличие моноцитов в крови в отсут-

ствии патологии регулируется лишь процессом их образования. Как известно, одними из факторов, стимулирующих выработку моноцитов, являются макрофагальный и гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующие факторы (М-КСФ и ГМ-КСФ соответственно). Эти факторы вырабатываются различными видами клеток, в том числе лимфоцитами, макрофагами, гемопоэтическими клетками, следовательно находятся в прямой зависимости от них [7].

Относительное количество лимфоцитов в крови крыс опытной группы при дополнительном вводе в рацион минеральных веществ достоверно снижалось с $83,00 \pm 02,34$ % в начале эксперимента до $75,60 \pm 1,67$ % после двух месяцев применения кормовой добавки. Относительный лимфоцитоз у особей, не достигших физиологической зрелости, может расцениваться как норма. Однако, начиная в среднем с 85—90-дневного возраста, относительное количество лимфоцитов в крови крыс постепенно приходит к физиологической норме для данного вида. При этом абсолютное количество лимфоцитов в крови крыс опытной группы, напротив, увеличилось с $4,94 \pm 0,07$ г/л в начале эксперимента до $5,64 \pm 0,26$ г/л. Это обусловлено повышением относительного количества сегментоядерных нейтрофилов, а также значительным повышением общего количества лейкоцитов в периферической крови крыс опытной группы на фоне применения минеральной добавки [8].

Важнейшим компонентом в дифференцировке лимфоцитов является цинк. Кроме того, он конт-

Таблица 1. Абсолютные и относительные значения лейкоцитов в крови крыс

Показатели		1 Этап		2 Этап		3 Этап	
		Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Лейкоциты, Г/л		$5,84 \pm 0,11$	$5,95 \pm 0,12$	$6,12 \pm 0,13$	$6,59 \pm 0,26$	$6,60 \pm 0,15$	$7,47 \pm 0,32^*$
Нейтр	Ю, Г/л	$0,00 \pm 0,00$	$0,01 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,00$	$0,01 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,00$
	Ю, %	$0,00 \pm 0,00$	$0,20 \pm 0,20$	$0,60 \pm 0,33$	$0,00 \pm 0,00$	$0,20 \pm 0,20$	$0,00 \pm 0,00$
	П, Г/л	$0,12 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,08$	$0,15 \pm 0,06$	$0,15 \pm 0,06$	$0,14 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,04$
	П, %	$2,00 \pm 0,71$	$3,20 \pm 1,30$	$2,40 \pm 0,89$	$2,20 \pm 0,84$	$2,20 \pm 0,84$	$1,32 \pm 0,55$
	С, Г/л	$0,60 \pm 0,11$	$0,63 \pm 0,10$	$0,74 \pm 0,08$	$1,04 \pm 0,16$	$1,00 \pm 0,12$	$1,39 \pm 0,18$
	С, %	$10,20 \pm 1,79$	$10,60 \pm 1,52$	$12,20 \pm 1,48$	$15,80 \pm 2,05$	$15,60 \pm 1,14$	$18,60 \pm 1,82^*$
Эоз	Г/л	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,01 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,04$
	%	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,20 \pm 0,20$	$0,60 \pm 0,33$	$0,80 \pm 0,70$
Баз	Г/л	$0,02 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
	%	$0,40 \pm 0,30$	$0,20 \pm 0,20$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
Мон	Г/л	$0,16 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,05$	$0,21 \pm 0,07$	$0,17 \pm 0,06$	$0,05 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,08$
	%	$2,60 \pm 0,55$	$2,80 \pm 0,84$	$3,40 \pm 1,14$	$2,60 \pm 0,89$	$0,80 \pm 0,64$	$3,60 \pm 1,14$
Лимф	Г/л	$4,93 \pm 0,18$	$4,94 \pm 0,07$	$4,97 \pm 0,10$	$5,21 \pm 0,18$	$5,33 \pm 0,26$	$5,64 \pm 0,26$
	%	$84,40 \pm 2,07$	$83,00 \pm 2,34$	$81,40 \pm 1,14$	$79,20 \pm 2,17$	$80,60 \pm 2,61$	$75,60 \pm 1,67^*$

* — $P < 0,01$.

ролирует экспрессию генов в G2 фазе клеточного цикла и индукцию ДНК-полимеразы- α , способствуя регуляции образования клеток. Цинк, также как медь и железо, является важнейшим компонентом антиоксидантной защиты клеток, так как входит в состав супероксиддисмутазы. При этом медь также участвует в образовании данного соединения [6; 9].

Одним из основных компонентов антиоксидантной защиты является также селен. Он, входя в состав глутатионпероксидазы, оказывает мощный антиоксидантный эффект и предотвращает повреждение клеток, поддерживая их численность в пределах нормы [10]. Марганец необходим для регуляции роста клеток, так как в совокупности с железом он необходим для активности серин/треонин-фосфатаз, которые, в свою очередь, участвуют в процессах созревания, дифференциации и апоптоза клеток (в частности, лейкоцитов) [5; 11].

Таким образом, регуляция клеточного состава лейкоцитов во многом осуществляется благодаря микроэлементам, способствующим созреванию, дифференцировке и своевременному апоптозу клеток. Кроме того, они обеспечивают сохранение популяций лейкоцитов, входя в состав антиоксидантной системы.

После исследования абсолютных и относительных показателей различных групп лейкоцитов приступили к комплексной оценке функциональной активности лейкоцитов путем вычисления лейкоцитарных индексов, указанных выше. Результаты вычислений представлены в таблице 2.

Проведя анализ полученных данных, было выявлено положительное влияние на функциональные характеристики лейкоцитов. Так, было зафиксировано достоверное увеличение индекса соотношения нейтрофилов и лимфоцитов с $0,06 \pm 0,03$ до $0,26 \pm 0,02$ у особей опытной группы ($0,01 < P < 0,05$). Главным образом, это изменение обусловлено увеличением относительного количества нейтрофилов при уменьшении относительного количества лимфоцитов. Кроме того, было выявлено достоверное уменьшение индекса ядерного сдвига с $0,32 \pm 0,09$ до $0,08 \pm 0,03$ у крыс опытной группы ($P < 0,01$). У крыс контрольной группы также наблюдалась тенденция к снижению данного показателя, однако он, тем не менее, оставался на высоких уровнях в течение эксперимента. Обусловлено это тем, что в крови крыс контрольной группы в большем количестве присутствуют палочкоядерные нейтрофилы.

Необходимо отметить, что данные лейкоцитарные индексы у крыс опытной группы на момент окончания эксперимента находятся в пределах нормы для данного вида животных. Тогда как у крыс контрольной группы наблюдаются отклонения от нормы, в том числе, отклонения по индексу ядерного сдвига, что может свидетельствовать о дисбалансе иммунологической реактивности.

Динамика изменения индексов в течение эксперимента обусловлена изменением абсолютного и относительного количества групп лейкоцитов. Однако расчет данных индексов подчеркивает влияние микроэлементов не только на количественные, но и на качественные показатели белых клеток крови.

Таблица 2. Лейкоцитарные индексы на разных этапах эксперимента

Индексы	1 Этап		2 Этап		3 Этап	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
ККП	$0,14 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,03$	$0,18 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,02^*$
РОН	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,04 \pm 0,04$	$0,07 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,06$
ИЛГ	$69,90 \pm 8,52$	$61,73 \pm 11,00$	$54,22 \pm 7,05$	$44,18 \pm 6,39$	$44,07 \pm 7,41$	$36,49 \pm 2,97$
ИСНЛ	$0,15 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,02$
ИСЛЭ	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$16,00 \pm 16,00$	$23,7 \pm 20,50$	$37,5 \pm 37,27$
ИСНЭ	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$3,20 \pm 3,20$	$5,40 \pm 5,00$	$9,90 \pm 8,70$
ИСЯ	$0,21 \pm 0,11$	$0,32 \pm 0,09$	$0,25 \pm 0,06$	$0,14 \pm 0,05$	$0,15 \pm 0,05$	$0,08 \pm 0,03^*$

* — $P < 0,01$.

Таблица 3. Показатели массы тела крыс опытной и контрольной групп

Группа	1 Этап	2 Этап	3 Этап
Контроль	$369,80 \pm 17,47$	$402,20 \pm 12,15$	$438,00 \pm 22,04$
Опыт	$368,40 \pm 20,27$	$450,60 \pm 16,00$	$534,40 \pm 13,74^*$

* — $P < 0,01$.

Помимо исследования лейкоцитов дополнительно была организована серия контрольных взвешиваний для оценки влияния микроэлементов на метаболизм и процессы роста. Результаты контрольных измерений массы тела крыс опытной и контрольной групп представлены в таблице 3.

Результат исследования показал, что прирост массы у крыс опытной группы больше, чем у крыс контрольной группы. Таким образом, масса тела опытных крыс достоверно увеличилась с $368,40 \pm 20,27$ г в начале эксперимента до $534,40 \pm 13,74$ г в конце эксперимента. Связано это, во-первых, с железом. Оно входит в состав гемоглобина и улучшает обеспечение тканей кислородом. Следовательно, это ведет к интенсификации тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования, что положительно сказывается на процессах роста путем активации анаболических процессов. Во-вторых, согласно существую-

щим данным, железо в сочетании с кобальтом и марганцем положительно влияют на усвояемость протеина, повышая его переваримость. Кроме того, положительным действием на усвоение питательных веществ обладает селен, так как он повышает интенсивность обменных процессов, влияя на скорость окислительно-восстановительных реакций [5; 10].

Выводы. Таким образом, введение минеральных добавок в рацион способствует улучшению количественных и качественных показателей лейкоцитов, стимулируя и регулируя их образование, дифференцировку, функционирование и апоптоз. Кроме того, минеральные вещества оказывают положительное влияние на иммунитет, повышая естественную резистентность организма. В совокупности с активизацией и регуляцией процессов обмена веществ это приводит к стимуляции роста организма и увеличению массы тела.

Литература

1. Ковалёнок Ю. К. Механизмы всасывания микроэлементов кишечником жвачных в условиях *in vitro* / Ю. К. Коваленко // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. — 2012. — № 3. — С. 269–273.
2. Лысиков Ю. А. Роль и физиологические основы обмена макро- и микроэлементов в питании человека / Ю. А. Лысиков // ЭиКГ. — 2009. — №2. — С. 120–131.
3. Душенина О. А. Влияние минеральной добавки «Хелавит С» на гематологические показатели у белых лабораторных крыс / О. А. Душенина, Л. Ю. Карпенко, С. В. Васильева [и др.] // Генетика и разведение животных. — 2023. — № 2. — С. 78–84. DOI: 10.31043/2410-2733-2023-2-78-84.
4. Shevchenko A. N., Panova N. A. Analysis of lymphoid cells in the mice blood. В сборнике: Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны. материалы XII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 215-летию СПбГУВМ. Санкт-Петербург. — 2023. — С. 522–523. — EDN NVJAWX.
5. Кулаков В. В. Некоторые показатели крови и продуктивность свиней при введении в рацион ультрадисперсного порошка железа / В. В. Кулаков, Л. Г. Каширина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2011. — № 3(30). — С. 65–67. — EDN OJOCGT.
6. Торшин И. Ю. Иерархия взаимодействий цинка и железа: физиологические, молекулярные и клинические аспекты / И. Ю. Торшин, О. А. Громова, Т. Р. Гришина, К. В. Рудаков // Трудный пациент. — 2010. — № 3. — С. 45–53.
7. Газатова Н. Д. Прямые эффекты гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора на функциональные свойства моноцитов/макрофагов человека / Н. Д. Газатова, М. Е. Меняйло, В. В. Малащенко и др. // Медицинская иммунология. — 2019. — №3. — С. 419–426. DOI: 10.15789/1563-0625-2019-3-419-426.
8. Панова Н. А. Влияние хелатных соединений на показатели лейкограммы крови крыс / Н. А. Панова // Ветеринарная медицина и практика : сборник научных статей. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2024. — С. 48–53.
9. Канжигалина З. К., Касенова Р. К., Орадова А. Ш. Биологическая роль и значение микроэлементов в жизнедеятельности человека // Вестник КазНМУ. — 2013. — №5-2. — С. 88–90.
10. Барабой В. А. Биологические функции, метаболизм и механизм действия селена / В. А. Барабой // Успехи современной биологии. — 2004. — Том 124. — №2. — С. 157–168.
11. Ахмеджанова З. И. Макро- и микроэлементы в жизнедеятельности организма и их взаимосвязь с иммунной системой (обзор литературы) / З. И. Ахмеджанова, Г. К. Жиемуратова и др. // Журнал теоретической и клинической медицины. — 2020. — № 1. — С. 16–21. — EDN TECYED.

Panova N., Prigozhaya O.

Dynamics of changes in the quantitative and functional parameters of leukocytes when mineral feed additives are introduced into the diet

Abstract.

Purpose: a comprehensive assessment of the effect of chelated forms of trace elements on quantitative and qualitative characteristics of leukocytes in combination with growth processes.

Materials and methods. The experimental part was carried out on male laboratory rats. 2 homogeneous groups of 5 individuals were formed: experimental and control. The feed additive "Helamax C" was introduced to the main diet of the experimental group. The experiment was conducted in 3 stages. At each stage, body weight measurements were carried out, as well as blood sampling with subsequent examination of leukocytes (counting the absolute and relative number of leukocytes, building leukograms, as well as analysis of leukocyte indices). Blood was taken from the caudal vein. Leukocytes were counted according to the generally accepted method using the Goryaev camera. Leukograms were calculated at each stage of the experiment, after which leukocyte indices were calculated.

Results. At the end of the experiment, there was an increase in the total number of leukocytes from $5,95 \pm 0,12$ G/l to $7,47 \pm 0,32$ G/l in the blood of rats against the background of the use of a mineral supplement. A decrease in the absolute number of rod-shaped neutrophils from $0,19 \pm 0,08$ G/l to $0,11 \pm 0,04$ G/l, with a simultaneous increase in the level of segmented neutrophils to $1,39 \pm 0,18$ G/l. In the rats of the experimental group, the absolute number of lymphocytes in the blood increased from $4,94 \pm 0,07$ G/l to $5,64 \pm 0,26$ G/l. There was an increase in the neutrophil-lymphocyte ratio index from $0,06 \pm 0,03$ to $0,26 \pm 0,02$ in individuals of the experimental group, as well as a decrease in the nuclear shift index from $0,32 \pm 0,09$ to $0,08 \pm 0,03$. The body weight of the experimental rats increased from $368,40 \pm 20,27$ g to $534,40 \pm 13,74$ g.

Conclusion. The introduction of mineral supplements into the diet helps to improve the quantitative and qualitative indicators of leukocytes, stimulating and regulating their formation, differentiation, functioning and apoptosis. In addition, minerals have a positive effect on the immune system, increasing the body's natural resistance. Together with the activation and regulation of metabolic processes, this leads to stimulation of body growth and an increase in body weight.

Key words: blood; chelates; leukogram; leukocyte index; leukocyte; metabolism; microelements; rats.

Authors:

Panova N. — PhD (Biol. Sci.); e-mail: panova_na@mail.ru;

Prigozhaya O. — e-mail: prigo.olga@gmail.com.

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine; 196084, St.Petersburg, Chernigovskaya st., 5;

References

1. Kovalenok Yu. K. Mechanisms of absorption of trace elements by the intestine of ruminants in vitro / Yu. K. Kovalenok // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. — 2012. — No. 3. — P. 269–273.
2. Lysikov Yu. A. The role and physiological bases of exchange of macro- and microelements in human nutrition / Yu. A. Lysikov // EiCG. — 2009. — No. 2. — P. 120–131.
3. Dushenina O. A. Effect of the mineral supplement "Helavit S" on hematological parameters in white laboratory rats / O. A. Dushenina, L. Yu. Karpenko, S. V. Vasilyeva [et al.] // Genetics and breeding of animals. — 2023. — No. 2. — P. 78–84. DOI: 10.31043/2410-2733-2023-2-78-84.
4. Shevchenko A. N., Panova N. A. Analysis of lymphoid cells in the mice blood. In the collection: Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country. Proceedings of the XII international scientific conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 215th anniversary of St. Petersburg State University of Medicine and Veterinary Medicine. St. Petersburg. — 2023. — P. 522–523. — EDN NVJAWX.
5. Kulakov V. V. Some blood parameters and productivity of pigs with the introduction of ultrafine iron powder into the diet / V. V. Kulakov, L. G. Kashirina // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. — 2011. — No. 3 (30). — P. 65–67. — EDN OJOCGT.

6. Torshin I. Yu. Hierarchy of interactions of zinc and iron: physiological, molecular and clinical aspects / I. Yu. Torshin, O. A. Gromova, T. R. Grishina, K. V. Rudakov // *Difficult patient*. – 2010. – No. 3. – P. 45–53.
7. Gazatova N. D. Direct effects of granulocyte-macrophage colony-stimulating factor on the functional properties of human monocytes/macrophages / N. D. Gazatova, M. E. Menyailo, V. V. Malashchenko, et al. // *Medical Immunology*. – 2019. – No. 3. – P. 419–426. DOI: 10.15789/1563-0625-2019-3-419-426.
8. Panova N. A. Effect of chelate compounds on blood leukogram parameters in rats / N. A. Panova // *Veterinary medicine and practice: collection of scientific articles*. - St. Petersburg: St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2024. – P. 48–53.
9. Kanzhigalina Z. K., Kasenova R. K., Oradova A. Sh. Biological role and importance of trace elements in human life // *Bulletin of KazNMU*. – 2013. – No. 5-2. – P. 88–90.
10. Baraboy V. A. Biological functions, metabolism and mechanism of action of selenium / V. A. Baraboy // *Advances in modern biology*. – 2004. – Vol. 124. – No. 2. – P. 157–168.
11. Akhmedzhanova Z. I. Macro- and microelements in the vital activity of the body and their relationship with the immune system (literature review) / Z. I. Akhmedzhanova, G. K. Zhiemuratova et al. // *Journal of Theoretical and Clinical Medicine*. – 2020. – No. 1. – P. 16–21. – EDN TECYED.