

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

ХИМИНЕЦЬ ПАВЛО СТЕПАНОВИЧ

УДК 636.4:612.8:591.1:546.72:546.28

ДИСЕРТАЦІЯ
ВПЛИВ АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ НА РЕЗИСТЕНТНІСТЬ
ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СВИНОМАТОК ЗА ЗАСТОСУВАННЯ
НАНОАКВАХЕЛАТІВ ЗАЛІЗА ТА ГЕРМАНІЮ

211 – «Ветеринарна медицина»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

П.С. Химинець

Науковий керівник:

Карповський Валентин Іванович

доктор ветеринарних наук, професор

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Химинець П. С. Вплив автономної нервової системи на резистентність та продуктивність свиноматок за застосування наноаквахелатів заліза та германію.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії галузі знань за спеціальності 211 «Ветеринарна медицина». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2026.

У дисертаційній роботі на підставі клінічних, лабораторних та статистичних досліджень встановлено тонус автономної нервової системи у свиноматок і його роль на резистентність та продуктивність свиноматок. Також науково обґрунтовано доцільність застосування наноаквахелатів заліза та германію для оптимізації вегетативної регуляції, адаптаційних реакцій і функціонального стану організму в умовах інтенсивного свинарства.

При визначенні тонусу автономної нервової системи у свиноматок встановлено, що у досліджених свиноматок господарства переважає симпатотонічний тип автономної регуляції, частка якого складала майже половину поголів'я (48%). Менша кількість тварин належала до нормотоніків (29%) та ваготоніків (23%), що вказує на нерівномірний розподіл типів тонусу автономної нервової регуляції в умовах сучасного промислового утримання свиней. Така структура автономної регуляції може бути наслідком тривалого впливу технологічних і антропогенних стресових чинників, які зумовлюють активацію симпатичного відділу автономної нервової системи як провідного механізму адаптації.

У свиней-симпатотоніків відзначено найвищу частоту пульсу ($P < 0,001$), амплітуду моди ($P < 0,001$), індекс напруги ($P < 0,001$), індекс автономної рівноваги ($P < 0,001$) та показник автономного ритму ($P < 0,001$), що свідчить про домінування симпатичних впливів на серцево-судинну систему. Натомість у свиней-ваготоніків виявлено найвищі значення моди ($P < 0,001$) та варіаційного розмаху ($P < 0,001$), а також найнижчі значення індексу напруги ($P < 0,001$) та інших показників ($P < 0,05-0,001$), що характеризує перевагу парасимпатичної регуляції серцевого ритму.

У результаті гематологічних досліджень встановлено, що тонус автономної нервової системи істотно впливає на показники еритроцитарної ланки крові свиней. Найвищі значення кількості еритроцитів та рівня гемоглобіну відмічено у тварин із врівноваженим симпато-вагусним балансом, що достовірно перевищувало відповідні показники у свиней-симпатотоніків ($P < 0,001$) та ваготоніків ($P < 0,01$). У тварин із переважанням симпатичної регуляції встановлено найнижчі значення еритроцитів, гемоглобіну та гематокриту ($P < 0,01-0,001$), що свідчить про зниження киснево-транспортної функції крові за умов домінування симпатичних впливів. У свиней-ваготоніків гематологічні показники займали проміжне положення між дослідними групами тварин. Водночас істотних відмінностей середнього об'єму еритроцита між тваринами різних типів вегетативної регуляції не встановлено. Отримані результати свідчать, що тип автономної регуляції організму є важливим чинником формування гематологічного статусу свиней та відображає рівень їх адаптаційних можливостей.

За результатами досліджень встановлено, що застосування наноаквохелатів Германію та залізо позитивно впливало на морфологічні показники крові свиноматок незалежно від типу автономної нервової системи, проте вираженість ефекту залежала від вегетативного статусу тварин. Найбільш чутливими до дії комплексу мікроелементів виявилися свиноматки-нормотоніки, у яких встановлено найвірогідніше збільшення кількості еритроцитів, вмісту гемоглобіну, гематокритної величини, середнього вмісту та концентрації гемоглобіну в еритроцитах, що свідчить про покращення еритропоезу та киснево-транспортної функції крові. У свиноматок-симпатотоніків позитивні зміни також проявлялися зростанням еритроцитарних показників, гемоглобіну та середнього об'єму еритроцита, хоча їх вираженість була меншою, ніж у нормотоніків. У тварин-ваготоніків дія наноаквохелатів супроводжувалася помірним покращенням морфологічного складу крові, зокрема зростанням кількості лейкоцитів, гемоглобіну та гематокриту. Водночас у всіх дослідних групах спостерігали підвищення кількості

лейкоцитів, що може вказувати на стимуляцію неспецифічної реактивності організму. Отримані дані свідчать, що наноаквохелати Германію та заліза сприяють оптимізації морфологічних показників крові супоросних свиноматок, а ефективність їх дії найбільшою мірою проявляється у тварин із врівноваженим типом вегетативної регуляції.

У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування наноаквохелатів Германію та Залізоу свиноматкам з різним типом автономної нервової системи супроводжувалося позитивними змінами показників гуморальної та клітинної ланок неспецифічного імунітету. Зокрема, у тварин дослідних груп відзначено достовірне підвищення бактерицидної активності сироватки крові на всіх етапах досліджу: у нормотоніків – на 2,88–3,93% ($P < 0,05$), у ваготоніків – на 3,06–3,75% ($P < 0,05–0,01$), у симпатотоніків – на 2,18–2,94% ($P < 0,05–0,01$), що свідчить про посилення гуморальних факторів природної резистентності. Лізоцимна активність сироватки крові також вірогідно зростала: у нормотоніків – на 2,81–3,02% ($P < 0,05$), у ваготоніків – на 2,84–3,00% ($P < 0,05–0,01$), у симпатотоніків – на 3,03–3,79% ($P < 0,05–0,01$), що вказує на активацію неспецифічного гуморального захисту. Під впливом наноаквохелатів підвищувалися також показники клітинної резистентності: фагоцитарна активність крові зростала у нормотоніків на 2,84–3,44% ($P < 0,05$), у ваготоніків – на 2,37–2,96% ($P < 0,05–0,01$), у симпатотоніків – на 2,73–4,30% ($P < 0,01–0,001$), а фагоцитарний індекс – відповідно на 9,2–10,9% ($P < 0,05$), 9,5–10,4% ($P < 0,05$) і 7,9–8,3% ($P < 0,01$). Одночасно у крові дослідних тварин встановлено вірогідне зниження рівня циркулюючих імунних комплексів: у нормотоніків – на 5,3–8,0% ($P < 0,05–0,01$), у ваготоніків – на 5,2–8,7% ($P < 0,05–0,01$), у симпатотоніків – на 5,3–7,4% ($P < 0,01$), що може свідчити про нормалізацію імунного гомеостазу та зменшення імунного навантаження на організм. Кількість В-лімфоцитів у крові зростала переважно у нормотоніків і симпатотоніків на 3,6–5,0% ($P < 0,05$) та 4,0% ($P < 0,05–0,01$) відповідно, що вказує на стимуляцію гуморальної імунної відповіді. При цьому

комплементарна активність сироватки крові суттєво не змінювалася, хоча в окремих групах спостерігали її підвищення на 8,0–17,5% ($P < 0,05$ – $0,01$).

Проведений кореляційний аналіз показав, що між імунологічними показниками та індексами автономної нервової системи існували різноспрямовані зв'язки, сила і напрям яких залежали від типу вегетативного тону та періоду дослідження: для бактерицидної й лізоцимної активності, фагоцитарної активності, фагоцитарного індексу, рівня ЦК і кількості В-лімфоцитів встановлено як прямі, так і обернені кореляції від слабких до дуже сильних ($r=0,30$ – $0,99$; $r=(-0,44)$... $(-0,93)$), що відображає тісну нейроімунну взаємодію. У більшості випадків застосування наноаквохелатів Германію та Залізоу супроводжувалося послабленням надмірно виражених кореляцій або зміною їх напрямку, що свідчить про стабілізуючий і модулюючий вплив досліджуваних сполук на механізми нейроімунної регуляції та підвищення природної резистентності свиноматок.

У результаті досліджень встановлено, що застосування наноаквохелатів Германію та Залізоу позитивно впливало на показники відтворювальної здатності свиноматок усіх типів вегетативного тону, однак вираженість ефекту залежала від стану автономної нервової системи. У свиноматок-ваготоніків за впливу наноаквохелатів відзначено підвищення багатоплідності на 3,5%, збільшення кількості поросят при відлученні на 8,6%, збереженості поросят – на 4,4%, середньодобового приросту – до $226,93 \pm 2,82$ г, молочності – на 14,2% та індексу відтворювальної здатності – до 46,28 бала. У свиноматок-нормотоніків встановлено зменшення частки мертвонароджених поросят на 0,8%, підвищення багатоплідності на 2,2%, збільшення кількості поросят при відлученні на 9,8%, збереженості – до 98,1%, живої маси гнізда при відлученні – на 10,24 кг, молочності – на 14,2% та індексу відтворювальної здатності – до 47,74 бала. Найбільш виражений позитивний ефект за окремими показниками спостерігався у свиноматок-симпатотоніків, у яких застосування наноаквохелатів супроводжувалося зниженням частки мертвонароджених на 0,8%, підвищенням багатоплідності на 2,4%, збільшенням кількості поросят

при відлученні на 12,3%, збереженості – на 9,1%, живої маси гнізда при відлученні – на 12,08 кг, середньодобового приросту – до 208,43 г, молочності – на 17,9% та індексу відтворювальної здатності – до 45,94 бала.

Проведений кореляційний аналіз показав, що між показниками відтворення та індексами автономної нервової системи існували типоспецифічні взаємозв'язки. Зокрема, у контрольних групах нормотоніків і ваготоніків встановлено виражені негативні кореляції між загальною кількістю поросят при народженні та індексом напруги, індексом автономної рівноваги й автономним показником ритму ($r=(-0,596)\dots(-0,789)$), що вказує на несприятливий вплив регуляторного напруження на репродуктивну функцію, тоді як у дослідних групах сила цих зв'язків послаблювалася ($r=(-0,034)\dots(-0,651)$), а у симпатотоніків частина кореляцій змінювала напрям на позитивний ($r=0,229-0,357$). Аналогічно, у контрольних групах переважали негативні зв'язки між показниками збереженості поросят, живою масою гнізда, молочністю та індексами вегетативної регуляції, тоді як у дослідних групах, особливо у нормотоніків і симпатотоніків, формувалися позитивні кореляційні залежності із збереженістю поросят ($r=0,451-0,861$) та молочністю ($r=0,504-0,715$), що свідчить про модулюючий вплив наноаквохелатів на нейровегетативні механізми забезпечення репродуктивної функції. Наноаквохелати Германію та Залізоу сприяють покращенню відтворювальної здатності, молочності, постнатальної збереженості та росту поросят, а також оптимізують взаємозв'язок між показниками продуктивності та вегетативної регуляції у свиноматок різних типів автономного тону.

Отже, результати дисертаційного дослідження розкривають значення автономної нервової системи у регуляції резистентності та продуктивності свиноматок за фізіологічних умов і за дії наноаквохелатів Германію та Залізоу, поглиблюють наукові уявлення про існування індивідуальних відмінностей гематологічних, імунологічних та відтворювальних показників залежно від тону автономної нервової системи, а також обґрунтовують можливість корекції адаптаційних, імунобіологічних і продуктивних процесів організму

свиноматок шляхом застосування біодоступних форм мікроелементів в умовах інтенсивного свинарства.

Ключові слова: автономна нервова система, свиноматки, резистентність, продуктивність, наноаквохелати, Германій, Залізо, гематологічні показники, імунологічні показники, відтворювальна здатність.

ANNOTATION

Khymynets P. S. Influence of the autonomic nervous system on the resistance and productivity of sows under the use of nanoaquachelates of iron and germanium.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 21 “Veterinary Medicine”, specialty 211 “Veterinary Medicine”. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2026.

In the dissertation, based on clinical, laboratory, and statistical studies, the tone of the autonomic nervous system in sows and its role in the resistance and productivity of sows were determined. The expediency of using nanoaquachelates of iron and germanium to optimize vegetative regulation, adaptive reactions, and the functional state of the organism under conditions of intensive pig production has also been scientifically substantiated.

When determining the tone of the autonomic nervous system in sows, it was found that the sympatotonic type of autonomic regulation predominated among the studied animals, accounting for almost half of the herd (48%). A smaller proportion of animals belonged to normotonics (29%) and vagotonics (23%), which indicates an uneven distribution of vegetative tone types under conditions of modern industrial pig production. Such a structure of autonomic regulation may result from the prolonged influence of technological and anthropogenic stress factors that activate the sympathetic division of the autonomic nervous system as the leading mechanism of adaptation.

In sympatotonic pigs, the highest values of heart rate ($P<0.001$), mode amplitude ($P<0.001$), stress index ($P<0.001$), autonomic balance index ($P<0.001$), and autonomic rhythm indicator ($P<0.001$) were observed, indicating the predominance of sympathetic influences on the cardiovascular system. In contrast, vagotonic pigs showed the highest values of mode ($P<0.001$) and variation range ($P<0.001$), as well as the lowest values of stress index ($P<0.001$) and other indicators ($P<0.05-0.001$), which characterizes the predominance of parasympathetic regulation of heart rhythm.

Hematological studies revealed that the tone of the autonomic nervous system significantly affects the erythrocyte parameters of pigs' blood. The highest values of erythrocyte count and hemoglobin level were observed in animals with a balanced sympatho-vagal regulation, significantly exceeding those in sympathotonic ($P < 0.001$) and vagotonic ($P < 0.01$) pigs. Animals with predominant sympathetic regulation had the lowest values of erythrocytes, hemoglobin, and hematocrit ($P < 0.01 - 0.001$), indicating a decrease in the oxygen transport function of the blood under conditions of sympathetic dominance. In vagotonic pigs, hematological indicators occupied an intermediate position between the experimental groups. At the same time, no significant differences in mean corpuscular volume were detected between animals of different vegetative regulation types. The obtained results indicate that the type of autonomic regulation is an important factor in the formation of the hematological status of pigs and reflects the level of their adaptive capacity.

The results of the studies showed that the use of nanoaquachelates of germanium and iron had a positive effect on the morphological parameters of sow blood regardless of the type of autonomic nervous system, although the severity of the effect depended on the vegetative status of the animals. Normotonic sows were the most sensitive to the action of the microelement complex, demonstrating the most significant increase in erythrocyte count, hemoglobin content, hematocrit value, mean corpuscular hemoglobin, and mean corpuscular hemoglobin concentration, indicating improved erythropoiesis and oxygen transport function of the blood. In sympathotonic sows, positive changes were also manifested by increased erythrocyte parameters, hemoglobin level, mean corpuscular volume, and mean platelet volume, although these changes were less pronounced than in normotonics. In vagotonic animals, the action of nanoaquachelates was accompanied by moderate improvement of the morphological blood composition, particularly by an increase in leukocyte count, hemoglobin level, and hematocrit. At the same time, an increase in leukocyte count was observed in all experimental groups, which may indicate stimulation of nonspecific reactivity of the organism, while platelet count tended to decrease with a simultaneous increase in their mean volume. These findings indicate that

nanoaquachelates of germanium and iron contribute to the optimization of morphological blood parameters in pregnant sows, and their effectiveness is most pronounced in animals with a balanced type of vegetative regulation.

The conducted studies demonstrated that the administration of nanoaquachelates of germanium and iron to sows with different types of autonomic nervous system was accompanied by positive changes in both humoral and cellular components of nonspecific immunity. In particular, a significant increase in serum bactericidal activity was observed at all stages of the experiment: in normotonics by 2.88–3.93% ($P < 0.05$), in vagotonics by 3.06–3.75% ($P < 0.05–0.01$), and in sympatotonics by 2.18–2.94% ($P < 0.05–0.01$), indicating activation of humoral factors of natural resistance. Lysozyme activity of blood serum also increased significantly: in normotonics by 2.81–3.02% ($P < 0.05$), in vagotonics by 2.84–3.00% ($P < 0.05–0.01$), and in sympatotonics by 3.03–3.79% ($P < 0.05–0.01$), which indicates activation of nonspecific humoral defense. Under the influence of nanoaquachelates, cellular resistance indicators also increased: phagocytic activity rose in normotonics by 2.84–3.44% ($P < 0.05$), in vagotonics by 2.37–2.96% ($P < 0.05–0.01$), and in sympatotonics by 2.73–4.30% ($P < 0.01–0.001$), while the phagocytic index increased by 9.2–10.9% ($P < 0.05$), 9.5–10.4% ($P < 0.05$), and 7.9–8.3% ($P < 0.01$), respectively. At the same time, a significant decrease in circulating immune complexes was detected in the blood of experimental animals: in normotonics by 5.3–8.0% ($P < 0.05–0.01$), in vagotonics by 5.2–8.7% ($P < 0.05–0.01$), and in sympatotonics by 5.3–7.4% ($P < 0.01$), indicating normalization of immune homeostasis. The number of B-lymphocytes increased mainly in normotonics and sympatotonics by 3.6–5.0% ($P < 0.05$) and 4.0% ($P < 0.05–0.01$), respectively, indicating stimulation of the humoral immune response.

Correlation analysis showed that immunological parameters were associated with autonomic nervous system indices through multidirectional relationships whose strength depended on the type of vegetative tone and the stage of the experiment. For bactericidal and lysozyme activity, phagocytic activity, phagocytic index, circulating immune complexes, and B-lymphocyte levels, both direct and inverse correlations ranging from weak to very strong were found ($r = 0.30–0.99$; $r = (-0.44) \dots (-0.93)$),

reflecting close neuroimmune interactions. In most cases, the administration of nanoaquachelates of germanium and iron weakened excessively pronounced correlations or changed their direction, indicating a stabilizing and modulating effect of these compounds on the mechanisms of neuroimmune regulation and enhancement of natural resistance in sows.

The results also demonstrated that the use of nanoaquachelates of germanium and iron positively influenced the reproductive performance of sows of all types of vegetative tone, although the magnitude of the effect depended on the state of the autonomic nervous system. In vagotonic sows, the administration of nanoaquachelates resulted in an increase in litter size by 3.5%, the number of piglets at weaning by 8.6%, piglet survival by 4.4%, average daily gain up to 226.93 ± 2.82 g, milk production by 14.2%, and the reproductive index up to 46.28 points. In normotonic sows, the proportion of stillborn piglets decreased by 0.8%, litter size increased by 2.2%, the number of piglets at weaning increased by 9.8%, survival reached 98.1%, litter weight at weaning increased by 10.24 kg, milk production increased by 14.2%, and the reproductive index increased to 47.74 points. The most pronounced positive effect for certain parameters was observed in sympatonic sows, in which the use of nanoaquachelates resulted in a decrease in stillborn piglets by 0.8%, an increase in litter size by 2.4%, an increase in the number of piglets at weaning by 12.3%, piglet survival by 9.1%, litter weight at weaning by 12.08 kg, average daily gain up to 208.43 g, milk production by 17.9%, and the reproductive index up to 45.94 points.

Correlation analysis demonstrated that reproductive parameters were associated with autonomic nervous system indices through type-specific relationships. In the control groups of normotonics and vagotonics, pronounced negative correlations were observed between the total number of piglets at birth and the stress index, autonomic balance index, and autonomic rhythm indicator ($r = (-0.596) \dots (-0.789)$), indicating the unfavorable influence of regulatory tension on reproductive function. In experimental groups, the strength of these relationships weakened ($r = (-0.034) \dots (-0.651)$), while in sympatotonics some correlations changed direction to

positive ($r=0.229-0.357$). Similarly, negative correlations prevailed in control groups between piglet survival, litter weight, milk production, and autonomic indices, whereas positive correlations were formed in experimental groups, particularly in normotonics and sympatotonics, with piglet survival ($r=0.451-0.861$) and milk production ($r=0.504-0.715$), indicating a modulating effect of nanoaquachelates on neurovegetative mechanisms regulating reproductive function.

Thus, the results of the dissertation reveal the role of the autonomic nervous system in the regulation of resistance and productivity of sows under physiological conditions and under the action of nanoaquachelates of germanium and iron. They deepen scientific understanding of individual differences in hematological, immunological, and reproductive parameters depending on the tone of the autonomic nervous system and substantiate the possibility of correcting adaptive, immunobiological, and productive processes in sows by using bioavailable forms of microelements under conditions of intensive pig production.

Key words: autonomic nervous system, sows, resistance, productivity, nanoaquachelates, germanium, iron, hematological parameters, immunological parameters, reproductive performance.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Статті у наукових та фахових виданнях України

1. Ковальчук О.О., Томчук В.А., Данчук В.О., **Химинець П.С.**, Гутий Б.В., Криворучко Д.І., Карповський В.В. Вплив наносполук залізоу та германію на вміст церулоплазміну в крові свиноматок і отриманих від них поросят. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2023. Т. 25, № 112. С. 201-205. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11231>
2. Gutyj V. V., Martyshuk T. V., Khalak V. I., Zezekalo M. A., Omelchenko O. V., Todoriuk V. B., **Khymynets P. S.**, Vyslotska L. V., Vus U. M., Prysiazhniuk V. Y. The influence of feed additive “Sylymevit” on indicators of the immune system of piglets at weaning. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2023. Т. 25, № 110. С. 104-109. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11017>
3. **Химинець П.С.**, Греля Р.В., Грищук І.А., Гутий Б.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Грищук А.В., Журенко О.В., Карповський В.І., Голопура С.І., Тодорюк В.Б. Вплив вегетативної регуляції на гематологічні показники свиней. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2025. Т. 27, № 117. С. 44-49. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11706>
4. Тодорюк В.Б., Журенко О.В., Криворучко Д.І., Журенко В.В., Кравчук С.В., **Химинець П.С.** Варіаційно-пульсометричне дослідження тонузу автономної нервової системи у свиней». Наукові доповіді НУБіП України, 2023. № 6/106. [https://doi.org/10.31548/dopovidi6\(106\).2023.018](https://doi.org/10.31548/dopovidi6(106).2023.018)
5. **Химинець П.С.**, Грищук А.В., Греля Р.В., Нагорець Р.В., Гутий Б.В., Грищук І.А., Калінін І.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Журенко О.В., Карповський В.І. Зміни бактерицидної активності сироватки крові свиней за використання наноаквахелатів з урахуванням вегетативної регуляції. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2025. Т. 27, № 120. С. 135-142. <https://doi.org/10.32718/nvlvet12017>

6. Ковальчук О.О., Томчук В.А., Данчук В.О., **Химинець П.С.**, Гутий Б.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Нагорець Р.В., Греля Р.В. Антиоксидантний та енергетичний статус поросят у ранній постнатальний період за задавання свиноматкам хелатів феруму і германію. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2026. Т 28, № 121. С. 31-36. <https://doi.org/10.32718/nvlvet12105>

7. Химинець П.С., Карповський В.І., Журенко О.В., Нагорець Р.В., Греля Р.В., Мельничук В.В., Грищук І.А., Карповський П.В., Ковальчук О.О.: Фагоцитарна активність лейкоцитів у свиней з урахуванням автономної нервової системи при застосуванні наноаквохелатів. Наукові доповіді НУБіП України. Ветеринарія. Науковий прогрес та інновації 29(1). С. 110-116. <https://orcid.org/0009-0000-6249-1026>

Перелік тез наукових доповідей.

1. Кравчук С.В., Тодорюк В.Б., **Химинець П.С.**, Грищук І.А., Ільчишин М.М., Журенко О.В., Карповський В.І.: «Визначення варіабельності серцевого ритму як показника впливу тонузу автономної нервової системи у свиней». Міжнародна науково-практична конференція: «Актуальні проблеми фізіології тварин». 25–26 травня 2023 року, м. Львів.

2. Карповський В.І., Журенко О.В., **Химинець П.С.**, Кравчук С.В.: «Вплив наноаквохелатів германію та залізоу на морфологічні показники крові свиноматок з різним тонузом автономної нервової системи». Міжнародна науково-практична конференція науковців, викладачів та аспірантів: «Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи – 2024», 22 тавня 2024 року, м. Харків.

3. Карповський В.І., **Химинець П.С.**: «Морфологічні індикатори крові свиноматок при різному тонузі автономної нервової системи»: Апробація результатів дисертаційного дослідження проводилося на 11-та міжнародна науково-практична конференція «Наукові досягнення сучасного суспільства», Лондон 29-31.05.25.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| АНОТАЦІЯ | 2 |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... | 18 |
| ВСТУП..... | 19 |
| РОЗДІЛ 1..... | 25 |
| ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ | 25 |
| 1.1. Вплив автономної нервової системи на резистентність та продуктивність свиней | 25 |
| 1.2. Залізо (Ferum, Fe) як біологічно важливий мікроелемент в організмі тварин | 32 |
| 1.3. Германій (Ge) як біологічно активний мікроелемент у організмі тварин | 38 |
| 1.4. Наноаквахелати як сучасна форма підвищення біодоступності мінеральних елементів..... | 44 |
| РОЗДІЛ 2 | 50 |
| ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ | 50 |
| 2.1 Схема проведення досліджень..... | 50 |
| 2.2. Методи дослідження тонусу автономної нервової системи у свиноматок. | 53 |
| 2.3. Відбір проб крові у свиноматок..... | 54 |
| 2.4. Визначення морфологічних і біохімічних показників крові у свиноматок. | 54 |
| 2.4.1. Визначення кількості еритроцитів, вміст гемоглобіну, гематокриту. | 54 |
| 2.4.2. Визначення кількості лейкоцитів | 56 |
| 2.4.3. Обчислення та одиниці виміру RDW. | 57 |
| 2.4.4. Підрахунок кількості еритроцитів у камері Горяєва..... | 58 |
| 2.4.5. Колориметричне визначення кількості еритроцитів..... | 59 |
| 2.4.6. Визначення концентрації гемоглобіну в крові геміглобінціанідним методом. | 60 |
| 2.4.7. Дослідження гематокриту (гематокритної величини). | 61 |
| 2.4.8. Визначення активності лізоциму нефелометричним методом (Дорофейчук В. Г., 1968)..... | 62 |
| 2.4.9. Бактерицидна активність сироватки крові (БАСК)..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| | 17 |
| 2.4.10. Комплементарна активність сироватки крові (по 100% гемолізу) | 63 |
| 2.4.11. Визначення циркулюючих імунних комплексів (ЦІК) | 64 |
| 2.4.12. Визначення фагоцитарної активності нейтрофілів | 64 |
| 2.4.13. Визначення відносної кількості В-лімфоцитів | 65 |
| РОЗДІЛ 3 | 68 |
| РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 68 |
| 3.1 Визначення тонусу автономної системи у свиноматок | 68 |
| 3.2 Вплив тонусу автономної нервової системи на гематологічні показники свиней | 71 |
| 3.3. Морфологічні показники крові свиней з різним тонусом автономної нервової системи за умов згодовування наноаквохелатів германію та заліза. | 77 |
| 3.4. Стан імунної системи організму свиней з різним тонусом автономної нервової системи за умов згодовування наноаквохелатів германію та заліза. | 85 |
| 3.5. Показники відтворювальної здатності свиноматок різних типів вегетативного тонусу за дії наноаквохелатів германію та заліза..... | 144 |
| РОЗДІЛ 4 | 161 |
| АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 161 |
| ВИСНОВКИ..... | 177 |
| ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ | 179 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ..... | 180 |
| ДОДАТКИ..... | 209 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БАСК –бактерицидна активність сироватки крові

ЛАСК-лізоцимна активність сироватки крові

ЦІК-циркулюючі імунні комплекси

КАСК- комплементарна активність сироватки крові

АНС- автономна нервова система

m-похибка середнього арифметичного

M-середнє арифметичне

r-коефіцієнт кореляції

АМо-амплітуда моди

АПР-автономний показник ритму

ІН-індекс напруги

Мо-мода

P-достовірність

ЦІК –циркулюючі імунні комплекси

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне свинарство характеризується високою інтенсивністю виробництва, концентрацією поголів'я, застосуванням прогресивних технологій утримання, годівлі та відтворення, що дозволяє суттєво підвищувати продуктивність тварин. Водночас інтенсифікація галузі супроводжується зростанням технологічного, фізіологічного та метаболічного навантаження на організм свиней, що нерідко призводить до порушення адаптаційних механізмів, зниження резистентності та реалізації продуктивного потенціалу, особливо у свиноматок у періоди підвищеного функціонального напруження.

Одним із ключових інтегративних механізмів, що забезпечує підтримання гомеостазу, адаптацію до дії стрес-факторів і координацію функцій внутрішніх органів, є автономна нервова система (АНС). Саме вона забезпечує оперативну регуляцію серцево-судинної, дихальної, травної, ендокринної та імунної систем, формуючи цілісну відповідь організму на зміни умов утримання, годівлі та технологічні впливи. Порушення рівноваги між симпатичним і парасимпатичним відділами АНС супроводжується напруженням адаптаційних резервів, розвитком метаболічних зрушень, імунної дисфункції та зниженням продуктивності.

Особливого значення проблема вегетативної регуляції набуває у свиноматок, організм яких одночасно забезпечує підтримання власного гомеостазу, репродуктивну функцію, внутрішньоутробний розвиток потомства та лактацію. У даних умовах навіть помірні порушення кортико-вегетативної взаємодії можуть призводити до зниження резистентності, погіршення відтворних показників, зменшення життєздатності приплоду та економічних втрат у виробництві.

Важливою складовою адаптаційної відповіді організму є мінеральний обмін, зокрема забезпеченість біологічно активними мікроелементами. Серед них Залізо посідає провідне місце як незамінний компонент системи транспорту кисню, клітинного дихання, енергетичного обміну та імунної реактивності.

Порушення обміну заліза супроводжується розвитком гіпоксичних станів, анемії, зниженням антиоксидантного захисту та резистентності організму, що особливо небезпечно для свиноматок у періоди інтенсивного фізіологічного навантаження.

Поряд із класичними життєво необхідними мікроелементами дедалі більшу увагу також привертають біологічно активні елементи регуляторного типу, зокрема германій (Ge). Хоча германій не належить до незамінних мікроелементів, експериментальні дослідження вказують про його здатність модулювати антиоксидантний статус, імунну відповідь, тканинне дихання та адаптаційні процеси. Особливе значення мають органічні, хелатні та наноструктуровані форми германію, які характеризуються підвищеною біодоступністю та нижчим токсикологічним ризиком.

Упродовж останніх років у ветеринарній медицині та тваринництві активно розвивається напрям застосування нанотехнологій, зокрема наноаквохелатів мікроелементів. Поєднання нанорозмірного стану та хелатної стабілізації дозволяє суттєво підвищити біодоступність елементів, оптимізувати їх всмоктування, транспорт і включення в метаболічні процеси, а також знизити подразнювальну та токсичну дію традиційних неорганічних солей. Наноаквохелати заліза та германію розглядаються як перспективні засоби корекції порушень мінерального обміну, антиоксидантного захисту та адаптаційної резистентності організму.

Попри наявність окремих досліджень, питання комплексного впливу наноаквохелатів заліза та германію на функціональний стан автономної нервової системи, резистентність і продуктивність свиноматок залишаються недостатньо вивченими. Особливо обмеженими є дані щодо взаємозв'язку між вегетативним тонусом, показниками серцево-судинної регуляції, мінеральним обміном та адаптаційною реактивністю організму за застосування сучасних біодоступних форм мікроелементів.

У зв'язку з цим актуальним є проведення комплексного дослідження, спрямованого на вивчення впливу автономної нервової системи на

резистентність і продуктивність свиноматок за застосування наноаквохелатів заліза та германію, з урахуванням особливостей вегетативної регуляції, метаболічного та антиоксидантного статусу організму

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Представлені в дисертації результати є частиною наукових досліджень Національного університету біоресурсів та природокористування України за такими держбюджетними темами: «Кортико-вегетативні механізми регуляції фізіологічних функцій у тварин та методи їх кореляції» (№ державної реєстрації 0121U109349, 2021-2030 рр.), «Фізіолого-біохімічні механізми нейровісцеральних взаємин в організмі тварин за впливу новітніх наноаквохелатів біогенних елементів» (№ державної реєстрації 0123U102169, 2023-2024 рр.) та «Молекулярно- детоксикаційні зміни в організмі тварин за дії ксенобіотиків та способи їх корекції» (№ державної реєстрації 0124U001716).

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є встановлення ролі автономної нервової системи у регуляції резистентності та продуктивності свиноматок за застосування наноаквохелатів германію та заліза.

Для реалізації мети були поставлені наступні завдання:

-дослідити тонус АНС у свиноматок використовуючи варіаційно-пульсометричне дослідження;

-дослідити вплив автономної нервової системи на продуктивність свиноматок за застосування наноаквохелатів заліза та германію;

-дослідити вплив автономної нервової системи на резистентність за застосування наноаквохелатів заліза та германію;

-визначити взаємозв'язок між тонусом АНС та показниками резистентності організму свиноматок за застосування наноаквохелатів германію та заліза ;

-визначити взаємозв'язок між тонусом АНС та показниками продуктивності організму свиноматок за застосування наноаквохелатів германію та заліза;

Методи дослідження: клінічні (варіаційно-пульсометричне дослідження тонусу автономної нервової системи свиней), лабораторні (морфологічне та біохімічне дослідження), статистичні (обробка результатів досліджень), зоотехнічні.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше в умовах інтенсивного свинарства комплексно досліджено роль автономної нервової системи у формуванні резистентності та продуктивності свиноматок за застосування наноаквохелатів заліза та германію, що дозволило отримати нові науково обґрунтовані дані про механізми нейровегетативної регуляції адаптаційних процесів. Встановлено типологічні особливості вегетативної регуляції у свиноматок (симпатикотоніки, парасимпатикотоніки і нормотоніки) та показано їх значення у формуванні неспецифічної резистентності й продуктивних показників. Обґрунтовано взаємозв'язок між функціональним станом автономної нервової системи та показниками імунобіологічної реактивності організму свиноматок, зокрема фагоцитарною активністю крові. Експериментально доведено модулюючий вплив наноаквохелатів заліза та германію на вегетативний баланс організму свиноматок, що проявляється стабілізацією кортико-вегетативної регуляції та зниженням напруження адаптаційних механізмів. Вперше показано, що ефективність дії наноаквохелатів Fe та Ge залежить від типу автономної нервової системи, що визначає індивідуальну реактивність організму та характер змін гематологічних, імунних і продуктивних показників. Одержано нові дані щодо впливу наноаквохелатів заліза та германію на показники неспецифічної резистентності та продуктивності свиноматок з урахуванням вегетативного статусу, що розширює уявлення про механізми реалізації їх біологічної дії.

Науково обґрунтовано доцільність застосування наноаквохелатів заліза та германію як засобів корекції адаптаційних порушень, пов'язаних із дисбалансом автономної нервової системи в умовах інтенсивного виробництва.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні нових підходів до

підвищення резистентності та продуктивності свиноматок шляхом корекції функціонального стану автономної нервової системи за застосування наноаквохелатів заліза та германію в умовах інтенсивного свинарства. Встановлені в роботі закономірності вегетативної регуляції та адаптаційних реакцій організму свиноматок можуть бути використані для фізіологічної оцінки функціонального стану тварин, прогнозування рівня їх резистентності, стресостійкості та адаптаційних можливостей за дії технологічних і виробничих стрес-факторів. На підставі проведених досліджень експериментально обґрунтовано доцільність застосування наноаквохелатів заліза та германію як засобів корекції порушень нейровегетативної регуляції, підвищення неспецифічної резистентності та стабілізації продуктивних і відтворних показників свиноматок. Застосування наноаквохелатних форм мікроелементів сприяє оптимізації обмінних процесів, зниженню напруження адаптаційних механізмів і покращенню функціонального стану організму тварин.

Прикладне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні можливості використання наноаквохелатів заліза та германію у системі ветеринарно-профілактичних заходів з метою підвищення резистентності свиноматок, покращення показників відтворення та зменшення негативного впливу технологічного стресу в умовах промислового виробництва.

Результати та матеріали дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес при викладанні дисциплін «Фізіологія тварин», «Ветеринарна патофізіологія» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти та слухачів післядипломної підготовки.

Особистий внесок здобувача. Здобувач самостійно виконав пошук, аналіз і систематизацію наукових джерел за темою дослідження, брав участь у плануванні експериментів, виборі методів і методик досліджень. Опрацювання результатів, їх інтерпретацію, формулювання висновків і практичних рекомендацій здійснено разом із науковим керівником.

Апробація результатів досліджень. Основні положення й результати проведених досліджень доповідалися та отримали загальне наукове схвалення

на щорічних наукових звітах і конференціях викладацького складу й аспірантів Національного університету біоресурсів та природокористування України та на міжнародних наукових конференціях (2022–2026 рр.):

1. Міжнародна науково-практична конференція науковців, викладачів та аспірантів: «Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи – 2024», 22 травня 2024 року, м. Харків;

2. 11-та міжнародна науково-практична конференція: «Наукові досягнення сучасного суспільства», 29-31 травня 2025 року, м.Лондон.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 7 статей – у наукових фахових виданнях України та 3 тез наукових доповідей.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Автономна нервова система (АНС), або вегетативна нервова система, є однією з ключових регуляторних систем організму, що забезпечує підтримання гомеостазу, інтеграцію функцій внутрішніх органів і адаптацію тварин до дії чинників зовнішнього середовища [189]. Її діяльність спрямована на узгодження функціонування різних фізіологічних систем у відповідь на постійно змінні умови існування, що має особливе значення для сільськогосподарських тварин, яких утримують у промислових умовах. Особливістю АНС є здатність оперативно реагувати на зміну умов утримання, годівлі та технологічних навантажень, мобілізуючи або, навпаки, відновлюючи функціональні резерви організму.

1.1. Вплив автономної нервової системи на резистентність та продуктивність свиней

У сучасному свинарстві, яке характеризується високою інтенсивністю виробництва, значною щільністю утримання тварин, частими технологічними маніпуляціями та дією комплексу стрес-факторів, роль автономної нервової системи у формуванні резистентності та продуктивності свиней набуває особливої актуальності [21, 49]. За таких умов саме ефективність нейровегетативної регуляції визначає здатність організму підтримувати стабільність внутрішнього середовища, зберігати продуктивний потенціал і протидіяти розвитку функціональних порушень та захворювань [50].

Автономна нервова система складається з двох функціонально антагоністичних, але взаємодоповнювальних відділів – симпатичного та парасимпатичного, узгоджена діяльність яких забезпечує баланс між процесами мобілізації та відновлення [1, 163, 194]. Симпатичний відділ активує стресову відповідь організму, стимулює катаболічні процеси, підвищує рівень обміну речовин і забезпечує швидкий доступ до енергетичних ресурсів, необхідних для реалізації адаптаційної реакції. Парасимпатичний відділ, навпаки, сприяє анаболізму, трофіці тканин, оптимальному функціонуванню травної системи,

відновленню витрачених резервів та стабілізації внутрішнього середовища [2].
Порушення рівноваги між цими відділами призводить до напруження адаптаційних механізмів і розглядається як один із патогенетичних чинників зниження резистентності та продуктивності тварин [7, 8, 20].

За даними О. М. Вейна, при порівнянні організації симпатичного та парасимпатичного відділів автономної нервової системи відсутні принципові відмінності у морфологічній будові тіл нейронів та їх відростків. Основні відмінності між цими відділами полягають у характері групування нейронів у центральній нервовій системі та топографії вегетативних гангліїв. Так, парасимпатичні нейрони переважно локалізуються у гангліях, розташованих безпосередньо поблизу або в товщі іннервованого органа, тоді як симпатичні ганглії, як правило, знаходяться на значній відстані від ефektorних структур [184, 207, 210].

Зазначені особливості обумовлюють різну довжину нервових волокон: для симпатичного відділу характерні короткі прегангліонарні та довгі постгангліонарні волокна, тоді як у парасимпатичному відділі спостерігається протилежне співвідношення. Функціональним наслідком такої організації є різний характер впливу обох відділів на органи і системи. Симпатичні впливи мають більш дифузний і генералізований характер, тоді як парасимпатичні реакції є відносно локальними та обмеженими за масштабом дії [23, 192].

Дія парасимпатичного відділу автономної нервової системи спрямована переважно на регуляцію функції внутрішніх органів, тоді як волокна симпатичного відділу проникають практично в усі тканини й системи організму, включаючи центральну нервову систему [164, 212]. Крім того, симпатичний і парасимпатичний відділи відрізняються за характером медіаторів, що вивільняються на закінченнях постгангліонарних волокон, що додатково зумовлює специфіку їх фізіологічних ефектів [39, 201].

Уявлення про генералізований характер симпатичних реакцій, які можуть виникати одночасно в різних системах організму, лягли в основу концепції так званого «симпатичного тону». Разом із тим це поняття має відносний

характер, оскільки рівень симпатичної активності є динамічним і залежить від функціонального стану організму [6, 16, 18]. Одним із об'єктивних показників симпатичної активності вважають концентрацію норадреналіну в плазмі крові, рівень якого може варіювати між індивідами, але для кожного організму залишається відносно стабільним у стані функціональної рівноваги [171, 181, 193].

Автономна нервова система є не лише периферичною регуляторною ланкою, а багаторівневою інтеграційною системою, що поєднує центральні структури – кору великих півкуль, гіпоталамус, лімбічну систему та стовбур мозку – з периферичними ефекторними механізмами [19, 180, 190, 200]. Через кортико-вегетативні взаємозв'язки АНС координує діяльність серцево-судинної, дихальної, травної, ендокринної та імунної систем, формуючи цілісну адаптаційну реакцію організму свиней на зовнішні та внутрішні подразники. Властивості вищої нервової діяльності, зокрема сила, врівноваженість і рухливість нервових процесів, значною мірою визначають індивідуальний характер вегетативної регуляції та обумовлюють варіабельність фізіологічних реакцій тварин [42, 187].

Важливою властивістю автономної нервової системи є її здатність до випереджальної регуляції, коли зміни вегетативного тонуусу виникають раніше, ніж з'являються клінічно виражені порушення гомеостазу або продуктивності [41, 46, 176]. У цьому контексті стан АНС можна розглядати як ранній індикатор напруження адаптаційних механізмів і потенційного ризику розвитку функціональних зрушень [17, 113, 191], що має важливе діагностичне та прогностичне значення для практичного свинарства.

Дослідження, виконані в Національному університеті біоресурсів і природокористування України, вказують про існування серед поголів'я свиней виражених індивідуальних відмінностей у характері вегетативної регуляції, що дозволяє виділяти тварин із переважанням симпатичного, парасимпатичного або збалансованого (нормотонічного) типу вегетативного тонуусу [56-58]. Такі типологічні особливості мають важливе біологічне та виробниче значення,

оскільки супроводжуються змінами метаболічних показників, зокрема концентрації холестеролу та триацилгліцеролів у крові, що безпосередньо впливає на енергетичний обмін, швидкість росту, ефективність використання корму та формування м'ясної продуктивності [40, 109].

Типологія вегетативного тонусу тісно пов'язана з особливостями вищої нервової діяльності, поведінковими реакціями та адаптаційною реактивністю свиней. Показано, що тварини різних типів нервової системи по-різному реагують не лише на технологічні стрес-фактори, але й на кормові та фармакологічні впливи [104]. Однакові за складом раціони або коригувальні заходи можуть мати різну ефективність залежно від типу кортико-вегетативної регуляції, що підкреслює доцільність урахування нейровегетативних особливостей при управлінні поголів'ям, оптимізації годівлі та розробці диференційованих схем ветеринарної профілактики [57].

Ключовим напрямом впливу автономної нервової системи на резистентність є її участь у регуляції імунної системи [103]. У свиней встановлено тісну взаємодію коркових механізмів із вегетативними ланками регуляції при формуванні неспецифічної резистентності. Під впливом технологічних подразників відбувається перебудова кортико-вегетативної взаємодії, яка супроводжується змінами фагоцитарної активності, бактерицидних і лізоцимних властивостей крові. За умов хронічного стресового навантаження ці зрушення можуть набувати стійкого характеру, що призводить до зниження імунної реактивності та підвищення сприйнятливості тварин до інфекційних і незаразних захворювань [49].

Важливою патогенетичною ланкою зниження резистентності свиней є розвиток оксидативного стресу, який також перебуває під контролем вегетативної регуляції [157]. Доведено, що тонуус АНС корелює з активністю антиоксидантної системи та інтенсивністю процесів пероксидного окиснення ліпідів. У тварин із домінуванням симпатичного відділу АНС виявляють підвищені концентрації гідроперекисів ліпідів у плазмі крові, що свідчить про посилення вільнорадикальних процесів і зниження стабільності клітинних

мембран. Натомість у свиней із врівноваженим або парасимпатичним типом вегетативного тонусу антиоксидантні резерви збережені краще, що сприяє підвищенню загальної стійкості організму до дії несприятливих факторів [51, 109].

Реалізація стресової відповіді у свиней відбувається через тісну взаємодію автономної нервової системи з гіпоталамо-гіпофізарно-наднирковою системою. Активація симпатичного відділу супроводжується вивільненням катехоламінів, тоді як активація гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі призводить до підвищення секреції кортизолу. За короткочасної дії стресу ці механізми мають адаптивне значення, однак за умов хронічного або повторюваного стресу вони сприяють розвитку катаболічних процесів, імуносупресії та порушень вуглеводного й ліпідного обміну, що негативно відображається на продуктивності та відтворній функції свиней [56].

Автономна нервова система відіграє провідну роль у регуляції обміну речовин [143, 166, 167], що безпосередньо пов'язано з м'ясною продуктивністю. Симпатична активація стимулює глікогеноліз і ліполіз, забезпечуючи швидку мобілізацію енергетичних ресурсів, тоді як парасимпатичний вплив підтримує процеси синтезу, засвоєння поживних речовин і відновлення тканин [140, 141]. За умов інтенсивного виробництва переважання симпатичного тонусу може призводити не лише до зниження приростів живої маси, але й до погіршення конверсії корму та нераціонального використання енергії [98, 99]. Крім того, стресова симпатична активація перед забоем негативно впливає на перебіг післязабійного гліколізу, що може сприяти формуванню м'яса типу PSE або DFD та погіршенню його технологічних і споживчих властивостей [109].

Репродуктивна функція свиноматок також є чутливою до змін вегетативної регуляції. Тривала симпатикотонія за умов хронічного стресу може впливати на секрецію гонадотропних гормонів, процеси овуляції, імплантацію ембріонів і перебіг вагітності [58]. Стресові реакції негативно відображаються і на лактації, що зумовлює зниження життєздатності та темпів росту поросят у підсисний

період. Отже, вегетативна стабільність організму свиноматок є важливою передумовою збереження високих відтворних показників.

В умовах інтенсивного свинарства тварини постійно зазнають дії різноманітних технологічних стрес-факторів, серед яких транспортування, перегрупування, відлучення поросят, зміни мікроклімату, вакцинація та ветеринарні маніпуляції. Кожен із цих чинників супроводжується активацією автономної нервової системи, а характер і тривалість вегетативної відповіді значною мірою залежать від індивідуальних типологічних особливостей тварин [139]. Встановлено, що тип вегетативної регуляції визначає не лише глибину адаптаційних зрушень, але й швидкість відновлення гомеостазу після дії стресу, що має важливе значення для збереження продуктивності в умовах промислового виробництва [109].

Функціональний стан автономної нервової системи оцінюють за показниками вегетативного тону, вегетативної рівноваги та вегетативного забезпечення діяльності, які відображають гомеостатичні й адаптаційні можливості організму [97, 144]. Найбільш доступним і інформативним методом оцінки цих параметрів є аналіз варіабельності серцевого ритму, що дозволяє судити про співвідношення симпатичних і парасимпатичних впливів, ступінь напруження регуляторних систем і рівень адаптаційного резерву [75, 172]. У тваринництві показники варіабельності серцевого ритму розглядають як перспективні біомаркери стресу та функціонального стану організму [70].

Аналіз серцевого ритму ґрунтується на дослідженні діяльності синусового вузла шляхом вивчення послідовності кардіоінтервалів та варіабельності їх тривалості, що дозволяє зробити висновки про функціональний стан регуляторних систем організму та окремих рівнів їх ієрархії. При цьому синусовий вузол розглядається не лише як водій ритму серця, але і як чутливий індикатор інтегральної діяльності всього організму [86].

Загальний принцип оцінки серцевого ритму полягає в тому, що регуляція має ієрархічну будову: вищі рівні регуляції виконують гальмівний вплив на активність нижчих. Водночас тривалість періодів коливань серцевого ритму

пов'язана з рівнем регуляторного контролю – чим більшим є період коливань, тим вищий рівень регуляції залучений у формування серцевого ритму [56].

Практичне значення вивчення автономної нервової системи полягає у можливості використання типології вегетативного тону для оптимізації умов утримання, годівлі та ветеринарно-профілактичних заходів [145]. Виявлення тварин із ознаками підвищеного симпатичного тону або зниженого адаптаційного резерву дозволяє своєчасно коригувати технологічні процеси, зменшувати стресове навантаження та запобігати розвитку захворювань і втраті продуктивності.

Отримані в наукових дослідженнях дані свідчать, що автономна нервова система виступає не лише фоном адаптаційних реакцій, а й одним із лімітуючих чинників реалізації продуктивного потенціалу свиней [92]. Тип вегетативної регуляції визначає напрям і вираженість метаболічних зрушень, характер мінерального та енергетичного обміну, ефективність використання поживних речовин корму, а також швидкість відновлення організму після дії стрес-факторів. Тварини зі збалансованим (нормотонічним) типом автономної нервової системи характеризуються більш стабільним гомеостазом і вищою здатністю до реалізації продуктивних ознак, тоді як за переважання симпатичного тону відзначається пролонговане напруження регуляторних механізмів і зниження продуктивності [87].

Таким чином, автономна нервова система може розглядатися як важливий інтегративний предиктор резистентності, адаптаційних можливостей і продуктивності свиней, а її типологічні характеристики – як перспективний критерій для оптимізації технологій утримання, годівлі та ветеринарно-профілактичних заходів у системі сучасного свиначарства.

1.2. Залізо (Ferum, Fe) як біологічно важливий мікроелемент в організмі тварин

Залізо (Ferum, Fe) належить до життєво необхідних мікроелементів, які відіграють ключову роль у забезпеченні нормального перебігу фізіологічних, біохімічних і метаболічних процесів в організмі тварин [3, 95]. За своєю біологічною значущістю залізо посідає особливе місце серед мікроелементів, оскільки безпосередньо залучене до процесів транспорту кисню, клітинного дихання, енергетичного обміну, функціонування імунної системи та росту тканин [9, 156]. Для свиней, особливо в умовах інтенсивного виробництва, адекватне забезпечення організму залізом є визначальним чинником формування резистентності, продуктивності та відтворної здатності [11].

Залізо є хімічним елементом з атомним числом 26 і належить до 8 групи 4 періоду періодичної системи Менделєєва. У біологічних системах залізо здатне існувати переважно у двох валентних станах – двовалентному (Fe^{2+}) і тривалентному (Fe^{3+}), що зумовлює його участь у численних окисно-відновних реакціях. Саме здатність заліза легко змінювати ступінь окиснення лежить в основі його ролі як універсального переносника електронів і каталізатора біохімічних процесів [25].

У фізико-хімічному аспекті залізо є пластичним металом сріблясто-сірого кольору з вираженими магнітними властивостями та високою електропровідністю. Його густина становить близько $7,8 \text{ т/м}^3$. У природі залізо легко окиснюється при контакті з киснем і практично не зустрічається у вільному стані, входячи до складу численних мінералів і руд. Воно є одним із найбільш поширених елементів земної кори, що свідчить про його еволюційну значущість для живих організмів [96, 146].

Упродовж останніх десятиліть значна увага науковців зосереджена на дослідженні механізмів абсорбції заліза в організмі тварин [88]. За даними одних авторів, всмоктування цього мікроелемента відбувається як у шлунку, так і в тонкому кишечнику. Водночас інші дослідники вказують, що основним місцем абсорбції заліза з корму є дванадцятипала кишка та проксимальні

відділи тонкого кишечника, тоді як роль шлунка в цьому процесі є мінімальною, оскільки в ньому засвоюється не більше 1–2 % від загальної кількості елемента [151].

Встановлено, що механізм всмоктування гемового заліза не залежить від рівня рН у кишечнику та характеризується значно вищою інтенсивністю порівняно з абсорбцією неорганічних форм заліза. Це зумовлює більшу біодоступність гемових сполук заліза і пояснює їх вищу ефективність у забезпеченні потреб організму [28].

Загалом процес всмоктування заліза включає кілька послідовних етапів: початкове захоплення іонів заліза клітинами слизової оболонки кишечника; внутрішньоклітинний транспорт лабільних форм заліза в ентероцитах; подальший перехід заліза зі слизової оболонки кишечника до системного кровотоку [135, 188].

Після абсорбції в ентероцитах слизової оболонки кишечника залізо надходить у системний кровообіг, де зв'язується з транспортним білком трансферином, який забезпечує його доставку до органів і тканин, що використовують залізо для синтезу біологічно важливих сполук. Водночас встановлено, що певна частина заліза може циркулювати в крові у формі, не зв'язаній з трансферином, або бути неспецифічно асоційованою з іншими білками плазми [108, 173, 177].

У такому вигляді залізо через систему ворітної вени транспортується до печінки, де накопичується в гепатоцитах. Клітини органів-мішеней експресують трансферинові рецептори – специфічні мембранні білки, які забезпечують розпізнавання комплексу трансферин–залізо, його внутрішньоклітинний транспорт і подальше включення заліза в цитоплазматичні метаболічні процеси [3, 16, 79, 91].

Депонування заліза в організмі відбувається переважно в селезінці, де воно відкладається у формі гемосидерину, а також у макрофагах кісткового мозку у вигляді феритину. Проте основним органом-резервуаром заліза є печінка, в якій

зосереджена найбільша кількість запасного заліза, що забезпечує його мобілізацію відповідно до потреб організму [3, 16, 27, 43].

Надходження заліза в кров здійснюється також із системи мононуклеарних фагоцитів внутрішніх органів, зокрема печінки, селезінки та кісткового мозку, де відбувається фізіологічне руйнування гемоглобіну еритроцитів. Крім того, певна кількість заліза потрапляє у плазму з так званого «депонованого фонду», а також у результаті його абсорбції в травному каналі з корму. У проміжному обміні заліза провідну роль відіграють процеси синтезу та деградації гемоглобіну еритроцитів, що забезпечує підтримання стабільного рівня цього мікроелемента в організмі [30, 36, 204, 205].

Біологічна роль заліза в організмі свиней є багатогранною та охоплює широкий спектр життєво важливих функцій [22, 170]. Насамперед залізо є незамінним компонентом системи транспорту кисню, оскільки входить до складу гемоглобіну еритроцитів. Гемоглобін забезпечує зв'язування та перенесення кисню від легень до всіх органів і тканин, а також участь у транспорті вуглекислого газу. У крові свиней вміст гемоглобіну зазвичай становить 90–120 г/л, що є необхідною умовою адекватного тканинного дихання [27].

Окрім гемоглобіну, залізо входить до складу міоглобіну – м'язового білка, що депонує кисень у скелетних м'язах і міокарді [195]. Міоглобін відіграє важливу роль у забезпеченні м'язової діяльності, особливо в умовах підвищеного навантаження або тимчасового обмеження кровопостачання. Завдяки цьому залізо опосередковано впливає на фізичну витривалість, ріст м'язової маси та м'ясну продуктивність свиней [32].

Залізо також є складовою частиною численних ферментів і білків негемного типу, зокрема цитохромів, каталази, пероксидази та інших ензимів, що забезпечують перебіг окисно-відновних реакцій, клітинне дихання та синтез аденозинтрифосфату. Через участь у транспорті електронів залізо відіграє ключову роль у процесах енергетичного обміну, що має вирішальне значення для росту, розвитку та реалізації продуктивного потенціалу свиней [25, 26].

Залізо активно залучене до регуляції вуглеводного, ліпідного та білкового обміну. Воно бере участь у перетворенні глюкози на енергію, забезпечуючи нормальне функціонування м'язів і внутрішніх органів. Крім того, залізо необхідне для синтезу ДНК і проліферації клітин, що зумовлює його важливу роль у процесах росту, регенерації тканин і розвитку молодняка [83, 89].

Залізо впливає також на функціонування ендокринної системи, зокрема щитоподібної залози, гормони якої регулюють інтенсивність обміну речовин. Порушення забезпеченості залізом може призводити до дисбалансу гормональної регуляції та вторинних метаболічних розладів [105, 132].

Важливою є роль заліза у функціонуванні імунної системи [59, 182, 185]. Залізо необхідне для проліферації і диференціації імунокомпетентних клітин, а також для реалізації механізмів неспецифічного захисту [154, 198, 209]. Разом із тим залізо є критичним фактором росту для багатьох мікроорганізмів, що зумовлює необхідність жорсткого контролю його розподілу в організмі [34, 169, 213].

Зниження доступності заліза є одним із природних механізмів обмеження розвитку інфекцій, що пояснює низький вміст заліза в молоці свиноматок [63]. Таким чином, баланс заліза має принципове значення для підтримання імунної рівноваги між потребами організму та протимікробним захистом [64, 155].

Однією з найактуальніших проблем у свинарстві є залізодефіцитна анемія поросят, яка виникає внаслідок недостатнього надходження заліза в ранньому постнатальному періоді. Запаси заліза в організмі новонароджених поросят є обмеженими й становлять близько 50 мг, тоді як добова потреба сягає 7–10 мг. Водночас з молоком свиноматки поросят отримує лише близько 1 мг заліза на добу, що створює передумови для швидкого розвитку дефіциту [28, 35].

Залізодефіцитна анемія характеризується зниженням рівня гемоглобіну, порушенням еритропоезу, гіпоксією тканин, затримкою росту та зниженням резистентності до захворювань. Найчастіше клінічні ознаки анемії проявляються на 5–7-му добу життя поросят, що потребує своєчасного застосування профілактичних і лікувальних заходів [29, 33, 106].

Обмін заліза в організмі свиней перебуває під суворим гуморальним контролем. Ключовим регулятором метаболізму заліза є гормон гепсидин, що синтезується в печінці. Гепсидин контролює абсорбцію заліза в кишечнику та його вивільнення з макрофагів під час рециркуляції еритроцитів. Підвищення рівня заліза в організмі стимулює синтез гепсидину, що призводить до зменшення його надходження в кров, тоді як дефіцит заліза супроводжується пригніченням синтезу цього гормону та посиленням засвоєння мікроелемента [44, 183].

В організмі тварин залізо представлене у кількох формах, які залежно від функціонального призначення умовно поділяють на активні, транспортні та резервні. До активних метаболічних форм належать гемовмісні сполуки, зокрема гемоглобін, міоглобін і цитохроми, які беруть участь у процесах транспорту кисню та клітинного дихання [77, 116]. Транспортну функцію виконує трансферин, що забезпечує перенесення заліза з місць абсорбції та депонування до тканин і органів. Резервні форми представлені феритином і гемосидерином, які слугують депо мікроелемента та підтримують його гомеостаз в організмі. Депонування заліза здійснюється у вигляді феритину, переважно в печінці, селезінці та кістковому мозку. Така багаторівнева система регуляції забезпечує підтримання оптимального рівня заліза та запобігає як дефіциту, так і токсичному надлишку [43, 174].

Кількісний розподіл заліза між цими формами є нерівномірним і визначається їх функціональною значущістю: основна частка заліза зосереджена у складі гемоглобіну (60–70 %), менша – у феритині (7–15 %) та міоглобіні (3–5 %).

Феритин є основним білком депонування заліза в організмі, який забезпечує його накопичення у водорозчинній, біологічно доступній та нетоксичній формі. Встановлено, що одна молекула феритину здатна зв'язувати до 4500 атомів заліза, що визначає його провідну роль у підтриманні гомеостазу цього мікроелемента. Саме тому феритин розглядають як надійний індикатор запасів заліза в організмі [65].

Підтримання клітинного гомеостазу заліза забезпечується регуляцією експресії рецепторів трансферину та феритину. Рівень експресії цих рецепторів визначає інтенсивність надходження заліза в клітину і залежить від кількості трансферинових рецепторів на її поверхні, ступеня депонування заліза та концентрації цитоплазматичного феритину [168, 170].

Референтні значення концентрації феритину характеризуються значною варіабельністю та залежать від виду тварин, віку, статі й фізіологічного стану. Для тварин показники норми визначаються з урахуванням видоспецифічних особливостей. Слід зазначити, що у новонароджених поросят рівень феритину в сироватці крові є фізіологічно низьким порівняно з тваринами інших видів і становить близько 0,57 мг/л, що зумовлює обмежені запаси заліза в ранній постнатальний період розвитку [26].

Адекватне забезпечення організму свиней залізом позитивно впливає на прирости живої маси, конверсію корму, резистентність до захворювань і життєздатність потомства. Дослідження свідчать, що застосування препаратів заліза, зокрема у формі лактоферину або гемового заліза, сприяє підвищенню його вмісту в печінці, селезінці та м'язах, а також покращує антиоксидантний статус поросят. Це супроводжується зниженням рівня захворюваності та підвищенням загальної ефективності виробництва [136, 161].

Таким чином, залізо є одним із ключових мікроелементів, що визначає інтенсивність обмінних процесів, функціональний стан імунної системи та реалізацію продуктивного потенціалу свиней. Його дефіцит або порушення регуляції обміну призводять до серйозних фізіологічних і виробничих наслідків, що обґрунтовує доцільність поглибленого вивчення ролі заліза в системі живлення та ветеринарної профілактики у свинарстві.

1.3. Германій (Ge) як біологічно активний мікроелемент у організмі тварин

Германій (Ge) належить до малодосліджених біологічно активних мікроелементів, інтерес до яких суттєво зріс упродовж останніх десятиліть у зв'язку з розвитком біоелементології, нанотехнологій та експериментальної ветеринарної медицини [179]. Попри те, що германій не відноситься до класичних життєво необхідних мікроелементів, як залізо, цинк чи мідь, численні експериментальні дослідження свідчать про його здатність впливати на адаптаційні, антиоксидантні, імунні та метаболічні процеси в організмі тварин [149].

З хімічної точки зору германій є металоїдом із атомним числом 32, що належить до 4-ї групи 4-го періоду періодичної системи [138, 202, 214]. У природі він трапляється у вкрай малих концентраціях – близько 0,0001–0,0002 % маси земної кори – переважно у вигляді домішок у мінералах кремнію, заліза та цинку [93]. Промислове отримання германію найчастіше пов'язане з переробкою цинкових руд і кам'яного вугілля, у золі якого за певних умов концентрація германію може зростати в десятки разів. Важливою особливістю є здатність германію акумулюватися в рослинах, зокрема в кореневій та надземній масі окремих сільськогосподарських і лікарських культур, що формує природний шлях його надходження в кормовий ланцюг [110, 112].

У біологічних системах германій не входить до складу специфічних структурних білків, однак здатний взаємодіяти з широким спектром біомолекул, опосередковуючи регуляторні функції. Значну увагу приділяють формам германію, оскільки саме хімічна форма визначає його біодоступність, безпечність і біологічну активність. Неорганічні сполуки германію характеризуються нижчою біологічною доступністю та потенційною токсичністю, тоді як органічні, хелатні та цитратні форми, а також нанотехнологічні комплекси, демонструють вищу ефективність і кращу переносимість організмом [94, 134].

Надходження германію в організм тварин можливе аліментарним, інгаляційним або парентеральним шляхом, однак у тваринництві провідним залишається аліментарний шлях. Всмоктування германію відбувається переважно у тонкому кишечнику, причому ліпофільні властивості окремих органічних сполук сприяють їх швидкому проникненню через біологічні мембрани [131]. Біодоступність германію значною мірою залежить від рН середовища, складу раціону, наявності органічних кислот, поліфенолів, цукрів та інших компонентів, що можуть утворювати з ним біоактивні комплекси [81, 130].

Розподіл германію в організмі має нерівномірний характер і залежить від дози, тривалості введення, хімічної форми та фізіологічного стану тварини [80]. За даними експериментальних досліджень, одноразове введення сполук германію не завжди супроводжується істотним підвищенням його рівня в органах і тканинах. Водночас тривале або повторне застосування призводить до поступового накопичення елемента, насамперед у печінці, нирках, селезінці та частково у м'язовій тканині. Печінка відіграє провідну роль у депонуванні германію, що пов'язано з її функціями детоксикації та регуляції метаболічних процесів [112, 152, 186].

Однією з ключових біологічних властивостей германію є його антиоксидантна активність [206]. Встановлено, що сполуки германію здатні знижувати інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів, стабілізувати клітинні мембрани та зменшувати утворення активних форм кисню. Антиоксидантний ефект реалізується як шляхом прямої нейтралізації вільних радикалів, так і через активацію ендогенних ферментів антиоксидантного захисту – супероксиддисмутази, каталази, глутатіонпероксидази. Показано також зростання рівня відновленого глутатіону та α -токоферолу в плазмі крові за використання органічних форм германію [78, 153].

В умовах технологічного, теплового або метаболічного стресу антиоксидантні властивості германію набувають особливого значення. Надмірна активація вільнорадикальних процесів за стресу призводить до

ушкодження клітинних мембран, порушення функції мітохондрій і зниження енергетичного потенціалу клітин. Здатність германію зменшувати інтенсивність окисного стресу сприяє збереженню структурної цілісності тканин і підвищенню загальної резистентності організму [125, 158].

Не менш важливим є імуномодулюючий ефект германію. Експериментальні дослідження на лабораторних тваринах свідчать про його здатність впливати як на клітинну, так і на гуморальну ланки імунітету. Зокрема, відзначають підвищення функціональної активності макрофагів, натуральних кілерів, стимуляцію синтезу інтерферонів і регуляцію продукції цитокінів. Антизапальна дія германію реалізується через зниження експресії прозапальних цитокінів (TNF- α , IL-1 β , IL-6) та підвищення рівня протизапальних медіаторів, зокрема IL-10, що супроводжується пригніченням сигнальних шляхів NF- κ B і MAPK [112, 208].

Важливим аспектом біологічної дії германію є його потенційний вплив на тканинне дихання та гіпоксичні процеси. За даними окремих досліджень, германій може покращувати транспорт кисню до тканин і підвищувати ефективність його використання на клітинному рівні [175]. Це дозволяє розглядати германій як елемент, що опосередковано сприяє профілактиці тканинної гіпоксії, особливо в умовах інтенсивного росту, високої продуктивності або підвищеного стресового навантаження у свиней.

Сукупність антиоксидантних, імуномодулюючих і метаболічних ефектів германію визначає його роль у формуванні адаптаційних реакцій організму. Встановлено, що застосування біодоступних форм германію сприяє підвищенню стійкості тварин до несприятливих факторів довкілля, зменшенню негативного впливу технологічних стресів і стабілізації функціонального стану організму [15, 119, 147]. Особливо актуальним це є для молодняку, свиноматок у період репродуктивного навантаження та тварин, що утримуються в умовах інтенсивного виробництва.

Окрему увагу в сучасних дослідженнях приділяють впливу сполук германію на морфо-функціональний стан організму тварин, зокрема на процеси

росту, репродукції та ембріонального розвитку [121]. Встановлено, що біодоступні форми германію, зокрема цитратні та наноструктуровані сполуки, здатні модулювати фізіологічний перебіг вагітності, внутрішньоутробний розвиток плода та постнатальну адаптацію потомства. Такий ефект пов'язують із комплексною дією германію на енергетичний обмін, антиоксидантний захист і регуляцію імунних процесів, що мають вирішальне значення для репродуктивної функції [120, 148].

Експериментальними дослідженнями показано, що введення оптимальних доз сполук германію супроводжується покращенням морфологічних і функціональних показників репродуктивної системи, зростанням життєздатності ембріонів і підвищенням виживаності новонароджених [79, 111]. Водночас наголошується на чітко вираженій дозозалежності біологічного ефекту: фізіологічні концентрації германію стимулюють адаптаційні механізми, тоді як надмірне навантаження може призводити до напруження регуляторних систем організму [102, 119]. Це підкреслює необхідність науково обґрунтованого підбору форм і доз мікроелемента при його використанні у тваринництві [111, 112].

Подальший розвиток уявлень про біологічну роль германію пов'язаний із дослідженням його впливу на імунобіологічну реактивність організму. На відміну від класичних імуномодуляторів, германій проявляє регуляторний, а не однобічно стимулюючий ефект. Установлено, що сполуки германію здатні змінювати співвідношення між клітинною та гуморальною ланками імунітету, оптимізуючи імунну відповідь відповідно до функціонального стану організму [37, 120].

Зокрема, відзначають активацію макрофагально-моноцитарної системи, підвищення фагоцитарної активності та регуляцію продукції цитокінів. Германій здатний знижувати надмірну експресію прозапальних медіаторів і водночас підтримувати синтез протизапальних факторів, що сприяє зменшенню хронічного запального фону [68, 112]. Такий механізм має особливе значення в

умовах інтенсивного тваринництва, де організм свиней постійно перебуває під впливом технологічних стрес-факторів [72].

Крім того, германій розглядають як елемент, що опосередковано бере участь у формуванні інтерферон-опосередкованих механізмів захисту, підвищуючи противірусну та протимікробну резистентність. Сукупність цих ефектів дозволяє вважати германій важливим регулятором неспецифічної резистентності, здатним підвищувати адаптаційний потенціал організму без надмірної імуностимуляції [112].

Окисно-відновний гомеостаз є одним із ключових чинників, що визначають функціональний стан організму в умовах фізіологічного та технологічного стресу. У цьому контексті германій привертає увагу як мікроелемент, здатний впливати на перебіг вільнорадикальних процесів [147]. Доведено, що застосування біологічно доступних форм германію супроводжується зниженням інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів і стабілізацією клітинних мембран [142].

Антиоксидантний ефект германію реалізується не лише через пряме зв'язування активних форм кисню, але й через активацію ендогенних систем антиоксидантного захисту. Підвищення активності супероксиддисмутази, каталази та глутатіонпероксидази сприяє збереженню структурної цілісності клітин і підтриманню енергетичного потенціалу тканин. Це особливо важливо для тварин у періоди інтенсивного росту, відтворення та за дії несприятливих факторів зовнішнього середовища [60, 147].

Порівняльний аналіз біологічної ролі германію та класичних життєво необхідних мікроелементів, таких як залізо, свідчить про принципову відмінність їх функціонального значення. Якщо залізо є незамінним структурним компонентом життєво важливих білків і ферментів, то германій виконує переважно регуляторну роль, впливаючи на адаптаційні, імунні та антиоксидантні процеси [62].

У цьому контексті германій доцільно розглядати як елемент функціональної підтримки організму, який посилює ефективність реалізації

фізіологічних процесів, але не замінює класичні мікроелементи. Такий підхід дозволяє обґрунтувати доцільність його використання у складі комплексних мікроелементних препаратів або наноконпозицій, особливо в умовах підвищеного стресового навантаження [45].

Разом із тим питання безпеки використання германію потребує особливої уваги. Надлишкове споживання окремих неорганічних форм може призводити до токсичних ефектів, зокрема ушкодження печінки та нирок. Саме тому сучасні дослідження акцентують увагу на використанні органічних, хелатних і цитратних форм германію, які характеризуються кращою біодоступністю та нижчим токсикологічним ризиком. Важливе значення мають доза, тривалість застосування і шлях введення, що визначає необхідність подальших системних досліджень, особливо у продуктивних тварин.

Таким чином, германій слід розглядати як біологічно активний мікроелемент із багатогранним механізмом дії, який реалізує антиоксидантні, імуномодулюючі та адаптаційні ефекти. Хоча його роль не є настільки фундаментальною, як у класичних життєво необхідних мікроелементів, накопичені наукові дані свідчать про значний потенціал використання германію в системі ветеринарної профілактики та підвищення резистентності й продуктивності свиней. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію форм, доз і схем застосування германію з урахуванням фізіологічних особливостей організму тварин і умов сучасного свинарства.

1.4. Наноаквахелати як сучасна форма підвищення біодоступності мінеральних елементів

Наноаквахелати мікро- та макроелементів належать до сучасних технологій доставки мінеральних речовин в організм тварин, що поєднують принципи координаційної (хелатної) хімії та нанорозмірної організації діючої речовини [4, 211]. Під терміном «Наноаквахелати» зазвичай розуміють нанорозмірні комплекси, у яких іон металу (наприклад, Fe, Zn, Cu, Mn, Ca, Mg) перебуває у зв'язаному стані з молекулами води та органічними лігандами, найчастіше – з карбоновими кислотами (зокрема цитратом) [47, 84]. Хелатування забезпечує формування стабільного комплексу, що знижує ймовірність небажаних реакцій іона металу з компонентами корму або травних соків (осадження, окиснення, утворення малорозчинних солей). Нанорозмірний стан, своєю чергою, суттєво змінює фізико-хімічні властивості сполуки, підвищуючи її розчинність, дифузійну здатність, проникність через біологічні бар'єри та, як наслідок, біодоступність [5, 137].

Біодоступність у цьому контексті варто розглядати як частку введеного мінералу, що після проходження шлунково-кишкового тракту (ШКТ) абсорбується, надходить у кровообіг і стає доступною для включення в метаболічні процеси та депонування в тканинах. Традиційні мінеральні добавки у вигляді неорганічних солей (сульфати, оксиди, хлориди, карбонати) часто демонструють обмежену біодоступність через низьку розчинність окремих форм, конкуренцію за транспортні механізми, антагонізм елементів (наприклад, Fe–Zn, Cu–Zn, Ca–Zn), а також через взаємодію з фітатами, волокнами, білками та іншими компонентами корму. Внаслідок цього значна частина елемента не засвоюється і виводиться, що знижує ефективність профілактичних і коригувальних програм та підвищує ризик подразнення слизової оболонки ШКТ при необхідності застосування вищих доз [14].

Наноаквахелати, на відміну від класичних солей, здатні реалізувати підвищену біодоступність завдяки кільком взаємопов'язаним механізмам [90]. По-перше, нанорозмір частинок (як правило, <100 нм) збільшує питому площу

поверхні, що покращує розчинення та стабільність дисперсії в середовищі ШКТ. По-друге, малі розміри полегшують проходження через слизовий шар та підвищують імовірність контакту з апікальною мембраною ентероцитів. По-третє, комплексоутворення з біосумісним органічним лігандом (наприклад, цитратом) зменшує ризик утворення нерозчинних сполук іонів металів у кислому шлунковому або у більш лужному кишковому середовищі, знижуючи втрати діючої речовини ще до етапу всмоктування [10, 51, 150].

Важливо підкреслити, що біодоступність наноаквахелатів є характеристикою, яка суттєво залежить від їх хімічної форми [13, 91, 126-129, 159]. У практиці найчастіше розглядають цитратні, хелатні та інші органічні лігандні комплекси, а також порівнюють їх із неорганічними солями елементів [74]. Цитратна форма набуває особливої уваги з огляду на природну сумісність цитрату з метаболізмом: цитрат є проміжним метаболітом циклу трикарбонових кислот (циклу Кребса), а отже організм тварини має сформовані механізми його використання та утилізації. Комплекс «метал–цитрат» здатний підтримувати елемент у розчинній формі та зменшувати його реакційну здатність у просвіті кишечника, що є критично важливим для елементів, схильних до осадження або переходу в неактивні форми. Саме тому цитратні комплекси мінералів часто демонструють кращі показники засвоєння порівняно з карбонатами, оксидами або сульфатами [71].

З точки зору безпечності, наноаквахелати в органічній (зокрема цитратній) формі розглядаються як потенційно менш подразнювальні для слизової оболонки травного каналу. Для багатьох солей металів характерна відносно висока осмотична активність та здатність спричиняти локальне подразнення, диспептичні явища або зміну моторики кишечника, особливо при перевищенні доз. Хелатування частково «екранує» заряд іона, знижує його агресивну взаємодію зі слизовою оболонкою та обмежує утворення вільних іонних форм у просвіті ШКТ. Як наслідок, виникає можливість отримати необхідний біологічний ефект при нижчих дозах, що зменшує загальне метаболічне навантаження на печінку та нирки [51, 133, 162].

Окремо слід зазначити, що підвищена біодоступність наноаквахелатів проявляється не лише на етапі абсорбції, а й у подальшому транспортуванні та засвоєнні на тканинному рівні. За рахунок стабільності комплексу в біологічних рідинах наноаквахелати можуть швидше включатися у транспортні системи організму, забезпечуючи надходження елементів до органів-мішеней, де вони використовуються для синтезу біологічно важливих молекул та активації ферментів [24, 61]. Для елементів із вираженою участю в еритропоезі, антиоксидантному захисті, імунній відповіді та енергетичному метаболізмі (Fe, Zn, Cu, Mn) дана особливість є важливою в умовах інтенсивного росту, стресу та високих продуктивних навантажень у свиней [73].

Відмінності між цитратними наноаквахелатами та класичними солями проявляються також у впливі на кислотно-лужний баланс. Цитратні комплекси у метаболізмі можуть сприяти утворенню бікарбонатів і проявляти алкалізуючий ефект. У фізіологічних межах це розглядають як потенційно сприятливий фактор для стабілізації кислотно-лужного стану, а також для зменшення ризику формування небажаних осадів у сечовидільній системі (через зв'язування іонів кальцію та підвищення рН сечі). Хоча дана властивість найчастіше описується в медицині людини, принципові біохімічні механізми є універсальними, що дозволяє розглядати цитрат як фізіологічно прийнятний ліганд у ветеринарній практиці за умови науково обґрунтованого дозування [31, 165, 178].

Поряд із перевагами, оцінюючи біодоступність наноаквахелатів, необхідно враховувати чинники, які модифікують засвоєння [48, 118, 123, 196]. До них належать рН у різних відділах травного каналу, склад раціону (наявність фітатів, клітковини, надлишку кальцію), рівень забезпеченості організму відповідним елементом, конкуренція між мікроелементами за транспортні шляхи, а також фізіологічний стан тварини (вік, інтенсивність росту, стан імунної системи, період відтворення, наявність запального процесу). Важливою є й форма самого комплексу: відмінності у ліганді, ступені хелатування та розмірах наночастинок можуть істотно змінювати як швидкість абсорбції, так і

розподіл у тканинах [38, 197]. Саме тому порівняльне вивчення наноаквахелатів «в різних формах» доцільно здійснювати не лише за показниками швидкості надходження елемента в кров, але й за тканинним депонуванням, включенням у ферментні системи, впливом на маркери метаболізму та функціонального стану організму.

Стабільність наноаквахелатів у складі препаратів є ще одним критично важливим аспектом, що опосередковано визначає біодоступність [82, 100, 101, 203]. Комплекс має зберігати свої властивості під час зберігання, транспортування та при змішуванні з іншими компонентами преміксів і кормових добавок. Цитрат як ліганд здатний підвищувати стабільність комплексу, зменшувати окиснення та небажані взаємодії з іншими інгредієнтами, що сприяє збереженню біологічної активності протягом терміну придатності [85, 122].

Практичне значення застосування наноаквахелатів у годівлі та ветеринарній профілактиці пов'язане з можливістю більш ефективної корекції дефіцитних станів [117] і підтримки адаптаційних механізмів у свиней [124]. Підвищення біодоступності може забезпечувати зменшення необхідних доз і, відповідно, зниження ризику побічних ефектів, а також підвищення ефективності програм профілактики залізодефіцитних станів у поросят, підтримки антиоксидантної системи, імунобіологічної реактивності та метаболічної стабільності в періоди високого стресового навантаження. У виробничих умовах це може проявлятися у кращій конверсії корму, стабільніших приростах живої маси, зниженні частоти функціональних розладів, а також у підвищенні технологічної стійкості поголів'я до стрес-факторів [133].

Отже, наноаквахелати мінеральних елементів, особливо в органічних (зокрема цитратних) формах, розглядаються як перспективні засоби підвищення біодоступності мікро- та макроелементів. Поєднання нанорозмірного стану та хелатної стабілізації здатне забезпечувати кращу розчинність, ефективніше всмоктування, зниження подразнювальної дії й

оптимізацію транспорту та включення елементів у метаболічні процеси. Водночас біодоступність наноаквахелатів залишається параметром, що потребує контролю та наукового обґрунтування через вплив дозування, хімічної форми, складу раціону й фізіологічного стану тварин, що визначає актуальність подальших досліджень у системі сучасного свинарства.

Висновок до розділу 1

Отже, результати аналізу літературних даних свідчать, що резистентність і продуктивність свиней у сучасних умовах інтенсивного виробництва визначаються інтегрованою дією нейрогуморальних механізмів регуляції та мінерального забезпечення, а ключову роль у цьому відіграють автономна нервова система, обмін заліза, біологічна активність германію та біодоступність мікроелементів у наноформах. Показано, що АНС є центральним координатором адаптації: баланс симпатичних і парасимпатичних впливів визначає характер стрес-реакції, метаболічні зрушення, імунну реактивність і антиоксидантний потенціал організму; при цьому тривала симпатикотонія асоціюється з хронічним напруженням регуляторних систем, оксидативним стресом, імуносупресією та зниженням продуктивних і відтворних показників. Встановлено, що залізо як життєво необхідний мікроелемент забезпечує транспорт кисню, клітинне дихання, енергетичний обмін і функції імунної системи, а його дефіцит, особливо у поросят раннього віку, зумовлює розвиток анемії, гіпоксії тканин, затримку росту та зниження неспецифічної резистентності; водночас гомеостаз Fe підтримується системою трансферин–феритин та гормональною регуляцією за участю гепсидину. Показано також, що германій, хоча й не належить до класичних незамінних мікроелементів, проявляє антиоксидантні, імуномодулюючі та адаптогенні властивості, сприяючи стабілізації окисно-відновного гомеостазу та зменшенню запального фону, але його ефективність і безпечність суттєво залежать від форми сполуки та дози, що потребує науково обґрунтованих схем застосування. Також, обґрунтовано, що наноаквахелати (особливо цитратні форми) є перспективним інструментом підвищення біодоступності мікро- і макроелементів завдяки

кращій розчинності, стабільності у ШКТ та ефективнішому транспортуванню, що потенційно дозволяє знизити дозу, мінімізувати побічні ефекти і підвищити результативність профілактичних програм у свинарстві.

Таким чином, поєднане врахування нейровегетативного статусу тварин та оптимізація мінерального забезпечення (Fe, Ge) із застосуванням високобіодоступних наночасточок формує сучасний науково обґрунтований підхід до підвищення адаптаційного потенціалу, резистентності й продуктивності свиней та є перспективним напрямом подальших досліджень і практичного впровадження.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Схеми проведення досліджень.

Дисертаційна робота виконана впродовж 2022-2026 рр. на кафедрі фізіології хребетних і фармакології Національного університету біоресурсів і природокористування України. Лабораторні дослідження проводилися на базі української лабораторії якості та безпеки продукції агропромислового комплексу при Національному університеті біоресурсів і природокористування України та міжкафедральної навчально-наукової лабораторії ветеринарно-діагностичних досліджень кафедри фармакології та фізіології хребетних Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Експериментальна частина роботи виконувалася на базі свиноферми ТОВ «Кошет», с. Чопівці, Мукачівського району, Закарпатської області. Господарство, в якому проводились дослідження, під час виконання дисертаційної роботи було благополучним щодо інфекційних та інвазійних захворювань. Стан здоров'я дослідних тварин оцінювали відповідно за загальним клінічним оглядом. За результатами клінічного обстеження усі піддослідні тварини були клінічно здоровими.

Для досліджень було відібрано свиноматки гібрид першого покоління(F1) порід Великої білої та Ландрас в кількості 30 голів. На момент проведення експерименту усім тваринам було зроблено всі відповідні профілактичні заходи. Годівля тварин проводиться готовими повноцінними кормами відповідно до раціонів господарства.

Дослідження були спрямовані на вивчення впливу типу автономної нервової системи на резистентність і продуктивність свиноматок, так і впливу на вищезгадані показники наноаквохелатів германію та заліза у динаміці експерименту. Відповідно було проведено два етапи досліджень.

На першому етапі досліджень за допомогою електрокардіографічного дослідження, варіаційно-пульсометричного дослідження виділили тварин у групи.

На другому етапі за допомогою гематологічних та біохімічних досліджень прослідковували вплив наноаквохелатів германію та заліза на резистентність і продуктивність свиноматок різних типів автономної нервової системи.



Рис. 2.1. Схема проведення досліджень

Експериментальні та лабораторні дослідження були проведені із дотримання вимог Закону України № 3447 – IV від 21.02.06 р. «Про захист тварин від жорстокого поводження», які узгоджуються з основними принципами «Європейської конвенції з захисту хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та наукових цілей» (Страсбург, 1986), декларації «Про гуманне ставлення до тварин» (Гельсінкі, 2000) і Національного конгресу з біоетики «Загальні етичні принципи експериментів на тваринах» (Київ, 2001).

Для першого етапу досліджень було відібрано 30 свиноматок. За допомогою обробки отриманих результатів на основі варіаційно-пульсометричного дослідження із встановленням тонуру автономної нервової системи було сформовано три групи, по 10 голів у кожній: ваготоніки (свині з перевагою впливу парасимпатичної нервової системи), нормотоніки (свині зі збалансованим впливом відділів автономної нервової системи) та симпатотоніки (свині з перевагою впливу симпатичної нервової системи). Відібраних 30 свиноматок було поділено на 6 груп по 5 голів у кожній: три контрольні (симпатотоніки, ваготоніки та нормотоніки) і три дослідні групи (симпатотоніки, ваготоніки та нормотоніки). Свиноматкам дослідних груп згодовували суміш германію та заліза. Задавали 3 мг заліза і 0,3 мг германію на добу. Кормову добавку задавали за відповідною схемою: 10 днів задавали , після чого робили перерву протягом 20 днів. Потім знову задавали і таких циклів всього було три.

Кров у тварин відбирали з краніальної порожнистої вени або яремної вени на 10, 40 і 70 добу досліду, з дотриманням правил асептики й антисептики. Під час взяття проб крові був мінімізований стресовий вплив, щоб це негативно не відобразилося на показниках.

2.2. Методи дослідження тонуру автономної нервової системи у свиноматок.

Дослідні групи свиноматок формували відповідно за результатами електрокардіографічного дослідження за методикою варіаційно-пульсометричного дослідження. Електрокардіографічне дослідження проводили за допомогою одноканального електрокардіографа Heart Mirror ІКО Угорщина Inpomed. Для розміщення електродів використовували електричні затискачі типу крокодил, які розташовували за системою трьох відведень. Швидкість протяжки стрічки під час запису кардіосигналів становила 50 мм/с. Обрахунок отриманих результатів кардіологічного дослідження проводився вручну. За варіаційно-пульсометричним дослідження було визначено основні показники, такі як: мода (Мо) – інтервал, який найчастіше зустрічається на проміжку R-R серцевого скорочення; амплітуда моди (АМо) – відсоткове значення моди, що формує моду, тобто відсоткове значення найбільш частого значення; варіаційний розмах (Δx) – різниця між максимальним і мінімальним значенням моди; індекс напруги (ІН) – показник, який відображає стан напруги організму, тобто відображає індекс стресу, що характеризує тонуру автономної нервової системи, індекс автономної рівноваги (ІАР) – показник, який відображає вплив симпатичної і парасимпатичної нервової системи на організм, визначається різницею між амплітудою моди та варіаційним розмахом; автономний показник ритму (АПР) – показник, що відображає вплив симпатичної нервової системи на організм[20].

Автономний показник ритму відповідно визначали за формулою:

$$\text{АПР} = 1 \div (\text{Мо} \times \Delta x) \quad (1)$$

Індекс напруги (ІН), визначали за формулою:

$$\text{ІН} = \text{АМо} \div (2 \times \text{Мо} \times \Delta x) \quad (2)$$

За отриманими результатами було сформовано три дослідні групи свиней: нормотоніки – тварини з симпато-вагальним балансом, симпатотоніки – тварини з домінуванням симпатичної нервової системи, ваготоніки – тварини з домінуванням парасимпатичної нервової системи [20].

2.3. Відбір проб крові у свиноматок.

Відбір проб крові у свиней виконується із краніальної порожнистої вени у жолобі, створеному довгими мускулами шиї, справа, або зліва (на 1–2 см збоку від трахеї) та на 1–2 см вище (краніально) від рукоятки грудної кістки, а з яремної вени – на 4–5 см вище від цього орієнтира. Голка діаметром 1–1,5 мм, з'єднана зі шприцом, вводиться на необхідну глибину знизу вверх із нахилом 10–15° у каудо-медіальному напрямку. Глибина занурення голки залежить від віку, маси тіла і вгодованості свиней. Для свиноматок – 5–6 см. Якщо голка увійшла у вену, поршень шприца легко витягується. У противному разі голку необхідно змістити дещо вверх або вниз.

2.4. Визначення морфологічних і біохімічних показників крові у свиноматок.

2.4.1. Визначення кількості еритроцитів, вміст гемоглобіну, гематокриту.

Морфологічні показники крові свиней досліджували за допомогою гематологічного аналізатора Micro CC 20 Plus, завдяки якому було визначено такі показники, як кількість еритроцитів, рівень гемоглобіну та гематокриту.

За показниками: кількість еритроцитів, вміст гемоглобіну крові і величина гематокриту, відповідно до формул, математично вираховували індекси крові: середній об'єм еритроцита, середню концентрацію гемоглобіну в одному еритроциті, середню масу гемоглобіну в еритроциті, колірний показник [12]. Середній об'єм одного еритроцита (СОЕ) вираховували шляхом ділення гематокриту на кількість еритроцитів. При цьому використовували формулу: $СОЕ = \text{гематокрит (\%)} \cdot 10 : \text{кількість еритроцитів (Т/л)}$. Середній вміст гемоглобіну в одному еритроциті (ВГЕ) вказує на насичення еритроцита гемоглобіном. Його вираховували за формулою: $ВГЕ = \frac{\text{гемоглобін (г/л)}}{\text{еритроцити (Т/л)}}$. Середня концентрація гемоглобіну в еритроцитах (СКГЕ) вираховується шляхом ділення кількості гемоглобіну на величину гематокриту. Для цього використовують формулу: $СКГЕ \text{ (г/100 мл)} = \frac{\text{гемоглобін} \cdot 100}{\text{гематокрит (\%)}}$. Визначення заліза в сироватці крові за кольоровою реакцією з

бета-фенантроліном. Залізо сироватки відновлюють до двохвалентного стану тіогліколевою кислотою, білки осаджують трихлороцтовою кислотою. У фільтраті проводять кольорову реакцію із бетафенантроліном, котрий з двохвалентним залізом у кислому середовищі утворює забарвлену комплексну сполуку з інтенсивністю забарвлення, пропорційній концентрації заліза, яку визначають фотометрично при довжині хвилі 510–550 нм.

Обладнання: КФК-2, КФК-3 або спектрофотометр, центрифуга, мірні колби на 100 мл, піпетки на 1, 5 мл, пробірки [12].

Реактиви:

1. Стандартний розчин амонію заліза (II) сірчаноокислого 17,9 мкмоль/л – 40 мл;
2. Бетафенантролін – 2×55 мл;
3. Кислота тіогліколева концентрована – 4 мл;
4. Розчин для осадження білків – 2×55 мл.

Приготування робочих розчинів. Розчин для осадження білків. У мірну колбу на 100 мл відміряють 3 мл реактиву 3 і доливають до мітки реактивом 4. Якщо розчин помутніє, його фільтрують через щільний фільтр. Розчин стійкий протягом 2 місяців зберігання в темному і прохолодному місці [12].

Хід визначення. До 1 мл сироватки крові додають 1 мл розчину для осадження білків. Суміш перемішують. Одночасно готують калібрувальну пробу (0,5 мл стандартного розчину + 0,5 мл розчину для осадження білків [12]).

Через 5 хв пробу центрифугують протягом 10 хв при 3000 об/хв. У чисту пробірку відбирають 1 мл надосадової рідини. В усі пробірки (надосадова рідина, стандарт, контроль) додають по 1 мл реактиву 2. Протягом 50–60 хв вимірюють оптичну густину проби (A_1) і стандарту (A_2) проти контрольного розчину при довжині хвилі 510–550 нм на спектрофотометрі або КФК–3 в 10 мм кюветі [12].

Вміст заліза у сироватці крові визначають за формулою:

$$F e_{\text{мкмоль/л}} = 17,9 \times \frac{A_1}{A_2} \quad (3)$$

де:

A_1 – оптична густина дослідного зразка,

A_2 – оптична густина стандарту;

17,9 – коефіцієнт концентрації стандартного розчину амонію заліза (II) сірчаноокислого [12].

2.4.2. Визначення кількості лейкоцитів

Принцип методу. Кількість лейкоцитів підраховують у визначеному об'ємі камери Горяєва з відомим розведенням крові. **Реактиви.** Розчин Тюрка (3 % розчин оцтової кислоти, підфарбований метиленовою синькою або генціанвіолетом з розрахунку 1 мл 1 % водного розчину барвника на 100 мл розчину оцтової кислоти). **Обладнання.** Мікроскоп; камера Горяєва; пробірки; мікропіпетка або капіляр від гемометра Салі.

Хід визначення. У пробірку вносять 0,4 мл (0,38 мл) розчину Тюрка. Капілярною піпеткою набирають 0,02 мл крові, кінець її ретельно протирають спочатку зволоженою, а потім сухою ватою або марлею, переносять у пробірку і обережно видувають. Піпетку споліскують рідиною, кров у пробірці ретельно перемішують. Піпетку декілька разів споліскують рідиною для розведення, набираючи її до рівня взятої крові. Пробірку закривають корком і залишають на 4 хв, періодично перемішуючи вміст [12].

Камеру перед підрахунком протирають спиртом, промивають дистильованою водою і висушують під феном, протирають м'якою фланеллю. Чисте, сухе покривне скло притирають до камери так, щоб появились райдужні кільця. Кров у пробірці знову перемішують скляною паличкою, беруть краплю крові та наносять до краю шліфованого скла камери. Підрахунок лейкоцитів починають через 1 хв після заповнення камери, коли осядуть клітини крові. Використовують мале збільшення мікроскопу (об'єктив – 8х, окуляр – 10х) при затемненому полі зору (звужена діафрагма) [12].

Підраховують лейкоцити в 100 великих квадратах (1600 малих).

Розрахунок проводять за формулою:

$$X = \frac{a \times 4000 \times 20}{1600} \quad (4)$$

де:

X – кількість лейкоцитів у мкл крові;

a – кількість лейкоцитів у 100 великих квадратах;

20 – розведення крові;

4000 – коефіцієнт, що переводить результат до об'єму 1 мкл крові;

1600 – кількість малих квадратів.

Колірний показник – це насиченість еритроцитів гемоглобіном у хворої тварини, порівняно з середнім показником у здорової тварини окремого виду.

Розрахунок колірного показника проводять за формулою [12]:

$$\text{КП} = \frac{\text{ДВГ} \times \text{СКЕ}}{\text{СВГ} \times \text{ДКЕ}} \quad (5)$$

де:

КП – колірний показник;

ДВГ – кількість гемоглобіну у досліджуваної тварини, г/100мл, г/л;

СВГ – середня кількість гемоглобіну в даного виду тварин, г/100мл, г/л;

СКЕ – середня кількість еритроцитів у даного виду тварин, млн/мкл, Т/л;

ДКЕ – загальна кількість еритроцитів у досліджуваної тварини, млн/мкл; Т/л [12].

2.4.3. Обчислення та одиниці виміру RDW.

Залежно від обладнання лабораторії, ширина розподілу еритроцитів може бути розрахована як коефіцієнт варіації (RDW-CV) або як стандартне відхилення (RDW-SD). Необхідно розуміти, що при дослідженні ширини розподілу еритроцитів, вимірюється не фактична ширина або діаметр окремих еритроцитів, а ширина кривої розподілу еритроцитів (гістограми), яку видає аналізатор крові. RDW-CV показує, наскільки об'єм еритроцитів відрізняється від середнього значення. RDW-CV розраховується на підставі ширини кривої розподілу, а також середнього розміру клітини. Формула розрахунку має такий вигляд [12]:

$$\text{RDW} - \text{CV} = \left(\frac{\text{SD}}{\text{MCV}} \right) \times 100 \quad (6)$$

де:

SD – стандартне відхилення розмірів еритроцитів

MCV – середній об'єм еритроцита

Розрахований таким чином показник прийнято позначати в процентах (%).

RDW-CV безпосередньо залежить від MCV, тому може не завжди відображати фактичну зміну розміру еритроцитів. Наприклад, якщо більшість еритроцитів маленькі (як при мікроцитозі), то RDW-CV залишиться в межах норми. RDW-SD – це пряме вимірювання ширини гістограми розподілу розміру еритроцитів в фемтолітрах (фл, fL), яке вимірюється шляхом обчислення ширини гістограми на рівні висоти 20%. Так як RDW-SD показує фактичну відмінність між максимальним і мінімальним обсягом червоних клітин і не залежить від MCV, цей індекс більш точно відображає зміни в розмірі еритроцитів [12].

2.4.4. Підрахунок кількості еритроцитів у камері Горяєва

Реактиви: 0,9 % розчин NaCl. Спеціальне обладнання: мікроскоп, камера Горяєва, пробірки лабораторні або меланжери (кровозмішувачі).

Хід визначення: у суху чисту пробірку вносять 3,98 мл 0,85 % розчину NaCl і капілярною піпеткою 0,02 мл крові. Попередньо кінчик піпетки добре витирають, кров вносять на дно пробірки, потім ретельно змішують з фізрозчином. Отримують розведення крові 1:200. При використанні меланжера кров набирають до мітки 0,5 або 1, а розріджувач — до мітки 101 (розведення у 200 або 100 разів) [12].

Камера Горяєва і покривне скло повинні бути чистими і сухими. Скельце притирають до камери так, щоб з'явилися райдужні кільця. Скляною паличкою з пробірки беруть 1–2 краплі розведеної крові і заповнюють ними камеру (починають з краю покривного скельця). Еритроцити підраховують через 1 хв після заповнення камери при малому збільшенні мікроскопа (об'єктив – 8х, окуляр – 10х або 15х) з прикритою діафрагмою або опущеним конденсором (у

затемненому полі зору). Підрахунок ведуть у п'яти великих квадратах (або 80 малих), розташованих по діагоналі. Враховують еритроцити розташовані в середині малого квадрата, а також на лівій і верхній його лініях. Клітини, які знаходяться на правій і нижній лініях квадрата, не рахують[12]. Кількість еритроцитів у 1 мкл крові визначають за формулою:

$$X = \frac{a \times 4000 \times 200}{80} \quad (7)$$

де:

X – кількість еритроцитів у 1 мкл крові;

a – кількість еритроцитів у 80 малих квадратах;

80 – кількість порахованих малих квадратів;

200 – ступінь розведення крові;

4000 – коефіцієнт, що приводить результат до об'єму 1 мкл крові, оскільки об'єм малого квадрата складає: 1/4000 мкл. Еритроцити переважно рахують в 80 малих квадратах, кров розводять у 200 разів, тому кількість еритроцитів множать на 10000 і отримують кінцевий результат. Кількість еритроцитів визначають в млн у 1 мкл. Для представлення кількості еритроцитів у літрі одиниці вимірювання подають у $10^{12}/л$ (одиниці SI) [12].

2.4.5. Колориметричне визначення кількості еритроцитів

Принцип методу. Метод базується на фотометричній реєстрації густини розчину залежно від кількості еритроцитів у крові.

Реактиви: 3,5 % розчин NaCl. [12] Хід визначення. У хімічно чисті пробірки вносять піпеткою 10 мл 3,5 % профільтрованого розчину хлориду натрію і 0,02 мл крові. Пробірку закривають гумовим корком, вмістиме змішують до рівномірного розподілу еритроцитів і колориметрують при довжині хвилі 670 нм у кюветі товщиною 3 мм при червоному світлофільтрі. Показники відраховують за правим барабаном. Попередньо нульове положення правого відрахункового барабану і стрілки гальванометра встановлюють при заповненні кювет розчином хлориду натрію. Таким чином виведені коефіцієнти

для підрахунку кількості еритроцитів у крові тварин на фотоелектроколориметрі, що застосовуються у наступних формулах [12].

2.4.6. Визначення концентрації гемоглобіну в крові геміглобінціанідним методом.

Принцип методу. Гемоглобін (Hb) при взаємодії з заліzosинеродистим калієм ($K_3Fe(CN)_6$, червона кров'яна соль) окиснюється до метгемоглобіну, утворюючи з ацетонангідридом геміглобінціанід (ціанметгемоглобін, $CNMeHb$), оптична густина якого при 540 нм прямо пропорційна концентрації гемоглобіну у зразку крові. Описану реакцію дають всі деривати гемоглобіну, які можуть міститися в крові, крім вердоглобіну, але його вміст незначний [12].

Трансформуючий розчин: бікарбонат натрію ($NaHCO_3$) – 1 г, червона кров'яна сіль ($K_3Fe(CN)_6$) – 0,2 г, ціанистий калій (KCN) або натрій (NaCN) – 0,05 г, дистильована вода до 1 л. У темній склянці в холодильнику зберігається декілька місяців. Хід визначення. У пробірку наливають 5 мл трансформуючого розчину і додають 20 мкл крові. Піпетку ополіскують вмістимим пробірки і розчин старанно перемішують та залишають при кімнатній температурі на 30 хв. Оптичну гуστину отриманого розчину геміглобінціаніду визначають на спектрофотометрі при 540 нм проти трансформуючого розчину [12]. Обчислення концентрації гемоглобіну проводять за формулою:

$$Hb_{г/л} = \frac{E_{540} \times 64,458 \times 251}{44} = E_{540} \times 367,7 \quad (8)$$

де:

E_{540} – оптична густина досліджуваного зразка;

64,458 – мілімолярна маса гемоглобіну в грамах;

251 – розведення крові;

44 – мілімолярний коефіцієнт екстинкції геміглобінціаніду, тобто екстинкції для розчину його з концентрацією 1 ммоль/л при товщині шару 1 см і довжині хвилі 540 нм [12].

2.4.7. Дослідження гематокриту (гематокритної величини).

Метод базується на розділенні плазми і еритроцитів за допомогою центрифугування. Принцип методу полягає в центрифугуванні цільної крові певни [12] й час при постійному обороті центрифуги з наступним визначенням результату за спеціальною шкалою.

Обладнання і реактиви: Антикоагулянти: гепарин – 5000 од/мл (розводять дистильованою водою в співвідношенні 1:5); етилен-діамінтетраоцтова кислота динатрієва сіль (NA2-ЕДТА, трилон Б), 40 г/л. Мікроцентрифуга гематокритна будь-якої марки, капілярні трубки (в комплекті з центрифугою). Можна використовувати капіляри, якими визначають С-реактивний білок.

Хід визначення. Попередньо оброблений антикоагулянтом і висушений капіляр заповнюють кров'ю на 7/8 довжини. Закупорюють капіляр з одного кінця спеціальною пастою (можна пластиліном). Поміщають в ротор центрифуги так, щоб закупорені кінці впирались в гумову прокладку і центрифугують 5 хв при 8000 об/хв.

Гематокритною величиною прийнято виражати об'єм еритроцитів. Гематокрит у старих одиницях подається у відсотках (%), а у системі СІ – $\text{м}^3/\text{м}^3$, або л/л [12].

Рівень сироваткових імуноглобулінів відображає функціональний стан В-системи імунітету, яка спонтанно стимулюється мікроорганізмами зовнішнього середовища, харчовими, лікарськими та іншими антигенами [12].

У нормі рівень імуноглобулінів у тварин залежить від віку, статі, фізіологічного стану, умов зовнішнього середовища та ін. Тому параметри нормальних значень у тої чи іншої особини повинні визначатись у сироватці крові з врахуванням цих факторів [12].

2.4.8. Визначення активності лізоциму нефелометричним методом (Дорофейчук В. Г., 1968)

Принцип методу. Активність лізоциму визначають за зміною оптичної густини мікробної зависі *Micrococcus Lysodeikticus* під впливом лізоциму досліджуваного розчину.

Реактиви. Фізіологічний розчин, добова культура мікрокока, фосфатний буфер (рН 7,2–7,4). Обладнання. ФЕК-56, термостат, стерильні пробірки і піпетки [12].

Хід визначення. З добової культури *Micrococcus Lysodeikticus*, вирощеної на скошеному агарі, готують мікробну завись на фосфатному буфері (рН 7,2–7,4), яку стандартизують на ФЕК-у при використанні зеленого світлофільтра в кюветах з робочою довжиною 3 мм (довжина хвилі 540 нм). При нефелометрії вихідної зависі світлопроникнення повинно становити 20 % (0,46–0,50 од. опт. густини). До 1,47 мл приготовленого мікробного змиву культури *Ms. Lysodeikticus* додавали 0,03 мл досліджуваної сироватки крові, пробірку струшують і витримують в термостаті за температури 37 °С впродовж години. Після повторного струшування проводять нефелометрію. Показники реєструють за шкалою світлопроникнення правого барабану. Відсоток активності лізоциму визначають за числовими показниками. Для цього відсоток світлопроникнення вихідної мікробної зависі (20 %) вираховують з відсотка світлопроникнення зависі, що досліджувалась.

2.4.9. Бактерицидна активність сироватки крові (БАСК)

Принцип методу. БАСК є інтегральним показником природної резистентності гуморального типу, яка свідчить про здатність крові до самоочищення. Бактерицидна активність крові відносно до мікроорганізмів пов'язана з наявністю в сироватці неспецифічних захисних компонентів (нормальних антитіл, лізоциму, комплементу, пропердину, інтерферону, бактеріолізинів) та інших факторів [12].

Реактиви. Стерильний фізіологічний розчин, м'ясо-пептонний бульйон (МПБ) Хоттінгера, добова культура кишкової палички, досліджувана

сироватка. Обладнання. ФЕК із зеленим світлофільтром, кювети № 2, стерильні пробірки і піпетки.

Хід визначення. На фізіологічному розчині готують змив із добової культури ешеріхії, визначають її щільність на ФЕК-у. Вона повинна бути в межах 0,48. У пробірки вносять по 4,5 мл стерильного м'ясо-пептонного бульйону, у дослідну пробірку додають 1 мл досліджуваної сироватки, а в контрольну – 1 мл фізіологічного розчину. Потім у всі пробірки вносять за допомогою шприца або мікропіпетки по одній краплі 24 год культури ешеріхії. Вміст пробірок перемішують і стерильною піпеткою відбирають по 2 мл для визначення оптичної густини. Суміш, яка залишилась в пробірках, інкубують в термостаті при температурі 37 °С протягом 3 год. Вимірюють оптичну густину вмісту пробірок:

$$\text{БАКС, \%} = \frac{D_0 \text{ через 3 год.} - D_0 \text{ перед інкубацією}}{D \text{ через 3 год.} - D \text{ перед інкубацією}} \times 100 \quad (8)$$

де:

D_0 – початкова оптична густина;

D – кінцева оптична густина [12].

2.4.10. Комплементарна активність сироватки крові (по 100% гемолізу)

Принцип методу. Метод ґрунтується на здатності комплементу сироватки крові лізувати еритроцити барана сенсibilізовані гемолітичною сироваткою. Реактиви. Еритроцити барана (ЕБ), відмиті забуференим фізіологічним розчином (ЗФР), гемолітична сироватка стандартизована (ГС), фізіологічний розчин [12].

Обладнання. Планшет для постановки імунологічних реакцій, термостат, стерильні пробірки і піпетки.

Хід визначення. Визначення активності комплементу починається з підготовки гемолітичної системи. Для цього змішують рівні об'єми 3 % зависі ЕБ і ГС, розведеної до 3-кратного титру. Одержану суміш ставлять в термостат при 37 °С на 30 хв для сенсibilізації еритроцитів. Досліджувану сироватку розводять фізіологічним розчином (ФР) 1:10 і розливають у лунки планшетки у

кількостях: 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1. Потім у тій же послідовності розливають ФР: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9. Відповідно отримуємо розведення сироватки: 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01.

Планшет злегка похитують для перемішування і додають в кожну лунку по 0,5 мл гемолітичної системи. Перемішують кожну лунку піпеткою, роблять вологу камеру і ставлять планшет у термостат при 37 °С на 45 хв, потім при кімнатній температурі залишають до наступного дня. Результат реакції враховується за найменшим розведенням сироватки, де спостерігається повний (100 %) лізис еритроцитів [12].

2.4.11. Визначення циркулюючих імунних комплексів (ЦІК)

Принцип методу. Метод ґрунтується на вибірковій преципітації імунних комплексів, що знаходяться в сироватці крові, високомолекулярним поліетиленгліколем з наступним обліком результатів прямим спектрофотометруванням $\lambda=315$ нм.

Реактиви. Боратний буфер 0,1 М (рН 8,4), 4 % розчин поліетиленгліколю (ПЕГ) з молекулярною масою 6000 Да. Обладнання. Центрифуга, спектрофотометр, пробірки центрифужні, туберкуліновий шприц.

Хід визначення. Готують дві пробірки: дослідну і контрольну. В контрольну вносять 0,3 мл боратного буферу і 0,15 мл досліджуваної сироватки крові, ретельно перемішують вміст пробірки і переносять 0,22 мл у дослідну пробірку з наступним додаванням 2 мл поліетиленгліколю. Ретельно перемішують, інкубують протягом 1 год при кімнатній температурі і фотометрують. Вираховують різницю показників оптичної густини (ОГ) і результат перемножують на 1000 та одержують вміст імунних комплексів у 100 мл сироватки крові (од. ОГ/100 мл сироватки).

2.4.12. Визначення фагоцитарної активності нейтрофілів

Принцип методу. Фагоцитоз є головним механізмом природної резистентності, а також обов'язковою ланкою індукції і формування специфічної імунної відповіді. Фагоцитуючу роль виконують поліморфно-

ядерні лейкоцити (ПМЯЛ). Нейтрофільні гранулоцити найчастіше фагоцитують збудників гострих інфекцій. У гранулах фагоцитів міститься набір неферментних катіонних білків, лізоцим, мієлопероксидаза, за рахунок яких відбувається пригнічення активності фагоцитованих бактерій та їх перетравлення.

Реактиви. М'ясо-пептонний агар, фізіологічний розчин, дистильована вода, культура *St. aureus* або *E. coli*, фіксатор для мазків (метанол, етанол), фарба Романовського-Гімза, масло імерсійне для мікроскопії.

Обладнання. Мікроскоп, пробірки, піпетки, штативи, ФЕК, термостат.

Хід визначення. Гепаринізовану кров вносять у пробірки в кількості 0,2 мл і мікропіпеткою додають, стандартизований до 2 млрд/мл завис добової культури *E. coli*, штаму № 078. Вміст пробірок добре збовтують і ставлять на водяну баню при температурі 37 °С на 30 хв. Потім готують на предметних скельцях мазки, висушують, фіксують і фарбують за Романовським-Гімза. У кожному мазку підраховують 100 нейтрофілів. В якості показників фагоцитозу визначають фагоцитарну активність (ФА) за кількістю активних лейкоцитів з 100 підрахованих (%). Фагоцитарний індекс (ФІ) за кількістю фагоцитованих мікробних тіл, яка припадає на один активний нейтрофіл і характеризує поглинаючу здатність фагоцитів, фагоцитарне число (кількість фагоцитованих мікробних тіл на 100 підрахованих нейтрофілів) [12]. Вираховують фагоцитарне число (ФЧ) і фагоцитарний індекс (ФІ) за формулами:

$$\text{ФІ} = \text{к-сть фагоцитованих мікроорганізмів} / \text{ФА}; \quad (9)$$

$$\text{ФЧ} = \text{к-сть фагоцитованих мікроорганізмів} / 100. \quad (10)$$

2.4.13. Визначення відносної кількості В-лімфоцитів методом розеткоутворення із сенсibiliзованими еритроцитами барана у якості маркерів

Принцип методу. В-лімфоцити у різні фази дозрівання (CD19⁺, CD20⁺, CD21⁺ і CD22⁺-клітини) характеризують гуморальну ланку імунітету. Метод ідентифікації В-лімфоцитів ґрунтується на наявності в них мембранних рецепторів для третього компоненту комплексу (C₃) і Fc-фрагменту

імуноглобуліну, що забезпечує приєднання до В-лімфоцитів індикаторних клітин, котрі на своїй поверхні містять комплемент-антиген-комплекс (ЕАС-РУЛ). У якості індикаторних клітин використовують еритроцити барана, сенсibilізовані антитілами та комплементом. Наявність у В-лімфоцитів поверхневих мембранних рецепторів до комплексу, дає можливість виявити так звані комплементарні розетки, тобто ті лімфоцити, що утворюють розетки з аналогічними еритроцитами, які несуть на своїх мембранах комплекс антитіло–комплемент – ЕАС-РУЛ.

Реактиви. Вода дистильована; рідка гемолітична сироватка (титр 1:1200); сухий комплемент морської свинки; глютаровий альдегід; фікол-400; верографін; гепарин; азур-еозин за Романовським; спирт етиловий ректифікований технічний; масло імерсійне для мікроскопії; метанол; натрію хлорид; натрій фосфорнокислий однозаміщений 2-водний; натрій фосфорнокислий двозаміщений.

Обладнання. Шприци ін'єкційні одноразового застосування; голки ін'єкційні одноразового застосування; піпетки градуйовані; циліндри, мензурки, колби, пробірки; мікроскоп; центрифуга; ареометри; камера Горяєва для підрахунку формених елементів крові; аквадистилятор; скла предметні для мікропрепаратів; папір фільтрувальний лабораторний; вага лабораторна.

Хід визначення. Приготування забуференого фізіологічного розчину (ЗФР), приготування розчину фікол-верографіну, підготовку еритроцитів барана в якості маркерів, підготовку проб крові, приготування мазків, мікроскопію мазків, опрацювання результатів проводять аналогічно [12].

Приготування комплемент-антиген-комплексу. Використовують готову рідку гемолітичну сироватку (титр 1:1200) та готовий сухий комплемент морської свинки. Підготовка системи ЕАС-РУЛ для визначення В-лімфоцитів (CD22⁺-клітин). До 0,1 мл чистої суспензії лімфоцитів додають 0,1 мл 1 % суспензії еритроцитів барана, котрі містять на своїй поверхні комплекс імуноглобулін антитіло–комплемент. Суміш інкубують у термостаті протягом 7 хв при температурі 37 °С, центрифугують при 1000 об/хв і ставлять у

холодильник на одну годину, після чого фіксують 0,3 % розчином глютарового альдегіду. Зупиняють фіксацію додаванням 0,4 мл дистильованої води, потім центрифугують 5 хв при 1000 об/хв, відбирають надосад, осад ресуспендують і роблять мазок на предметному склі.

Одержані цифрові дані опрацьовували статистично: визначали середньоарифметичну величину (M); її похибку (m). Ймовірність різниць середніх значень встановлювали за критерієм Стюдента. Зміни показників вважали достовірними при $p < 0,05$ (в тому числі $p < 0,01$ і $p < 0,001$). Коефіцієнт кореляції (r) розраховувалися методом Пірсона, також проводили одно- та двофакторний дисперсійний аналіз отриманих результатів за допомогою прикладного програмного комплексу «Microsoft Office Excel 2021».

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Визначення тону автономної системи у свиноматок

Під час дослідження свиноматок з'ясовано, що переважна більшість тварин характеризувалася переважаючим впливом симпатичного відділу автономної нервової системи й належала до групи симпатотоніків (рис. 3.1). Частка свиней із симпатотонією складала 48%. Натомість частка свиноматок із нормотонією та ваготонією складала відповідно 29 та 23%.

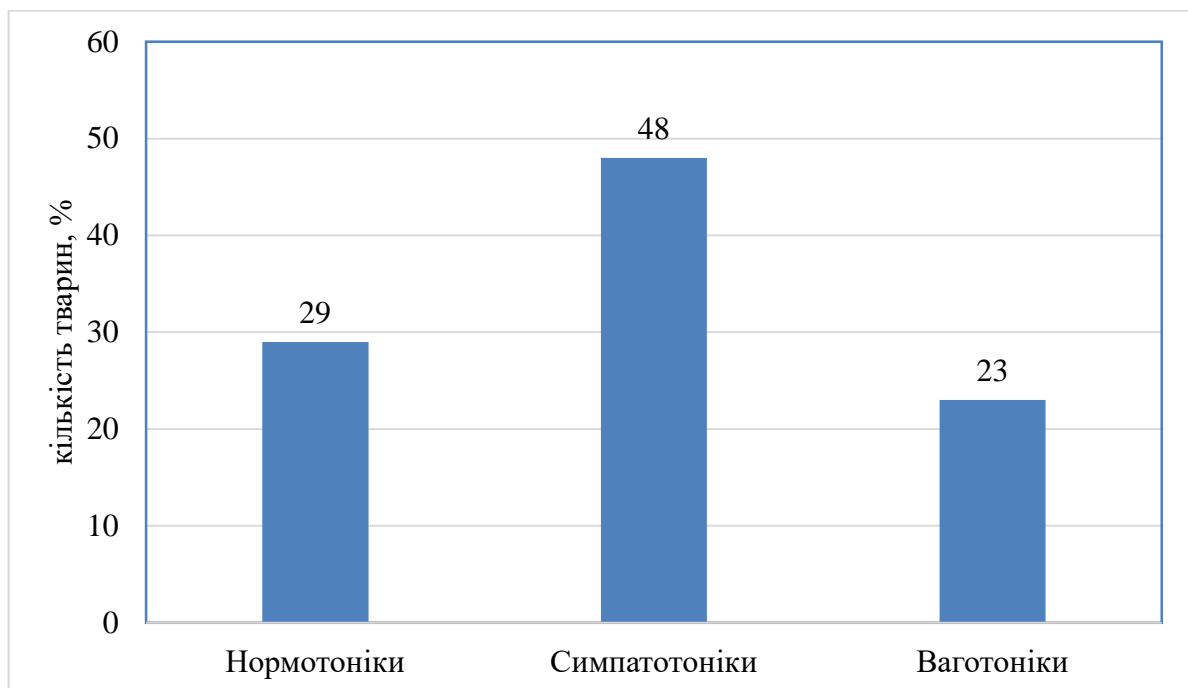


Рис. 3.1 Кількість тварин залежно від тону автономної нервової системи (n = 60)

За результатами електрокардіографічного дослідження були отримані відмінності у варіаційно-пульсометричних показниках у свиноматок залежно від тону автономної нервової системи (табл. 3.1). Результати проведених досліджень вказують на те, що кожна тварина характеризується індивідуальними особливостями тону симпатичних та парасимпатичних центрів, що відображається у відмінностях варіаційно-пульсометричних показників. За результатами електрокардіографічного дослідження були

отримані відмінності у варіаційно-пульсометричних показниках у свиней. Зокрема, встановлено, що у дослідної групи свиней симпатотоніків показники моди $0,63 \pm 0,01$ були найнижчими ($P < 0,001$). Дані зміни вказують про перевагу симпатичної нервової системи, де відповідне дане зниження зумовлене переважанням процесів збудження у серце-судинній системі свиней. У свиней-ваготоніків мода $1,12 \pm 0,03$ є найвищою порівняно з іншими групами ($P < 0,001$), що зумовлене дією парасимпатичної нервової системи. За даними Гаврилової, зростання величини моди вказує про підвищення адаптованості організму.

Таблиця 3.1

Показники варіаційно-пульсометричного дослідження у свиней
($M \pm m, n=30$)

| Показники | Нормотоніки | Симпатотоніки | Ваготоніки |
|----------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| Пульс за 1 хв | $69 \pm 2,70$ | $95 \pm 1,41^{***}$ | $54 \pm 1,24^{***}$ |
| Мо, с | $0,88 \pm 0,04$ | $0,63 \pm 0,01^{***}$ | $1,12 \pm 0,03^{***}$ |
| Амо, % | $25 \pm 0,83$ | $39,55 \pm 2,23^{***}$ | $11,90 \pm 0,54^{***}$ |
| Δx , с | $0,13 \pm 0,01$ | $0,07 \pm 0,01^*$ | $0,25 \pm 0,01^{***}$ |
| ІН | $133 \pm 8,11$ | $489 \pm 34,81^{***}$ | $21,15 \pm 0,87^{***}$ |
| ІАР | $197 \pm 8,96$ | $613 \pm 37,71^{***}$ | $47,28 \pm 1,74^{***}$ |
| АПР | $9,11 \pm 0,77$ | $25,08 \pm 2,31^{***}$ | $3,59 \pm 0,22^{**}$ |

Примітка: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$ – відносно даних групи нормотоніків.

За впливу стресового фактора на організм тварини з боку автономної нервової системи переважає явище ваготонії. Серцево-судинна система зменшує свою збудливість, що сприяє зменшенню частоти серцебиття і відповідно – показників пульсу.

Показник амплітуда моди відображає відсоткове відношення показників моди, а також міру мобілізаційного впливу симпатичної нервової системи. Амо вказує на рівень стабільності серцевих скорочень. Встановлено, що у свиней-симпатотоніків даний показник є найвищим і відповідно становить

39,55±2,23%, тоді як у свиней-ваготоніків він є вірогідно нижчим на 13,1% ($P<0,001$) порівняно з нормотоніками. Таким чином встановлено, що зростання амплітуди моди вказує про домінування симпатичної нервової регуляції.

Варіаційний розмах (ΔX), як і амплітуда моди (A_{Mo}), також характеризує стабільність серцевих скорочень. Однак дані показники є обернено пропорційними. Так, якщо зростає A_{Mo} , то варіаційний розмах відповідно знижується. На основі проведених досліджень у тварин-симпатотоніків встановлено зниження ΔX на 46,2% ($P<0,05$), а у тварин-ваготоніків відповідно зростання на 92,3% ($P<0,001$) порівняно з нормотоніками. Тому, свиней з найвищим Δx відносять до групи парасимпатикотоніків і вони на 0,18 с ($P<0,001$) переважають групу-симпатотоніків.

Індекс напруги (ІН) характеризує тонус автономної нервової системи. Основне його значення – це визначення індексу стресу, що вказує на перевагу симпатичної або парасимпатичної нервової системи. Тварини, які мають високі показники індексу напруги, відповідно мають підвищену агресивність та зменшену стресостійкість, через що зростає нервова втома. З огляду на це дослідна група свиней-симпатотоніків має високі показники ІН $489\pm 34,81$ ($P<0,001$), що вказує про перевагу симпатичної нервової системи, а відповідно свині-ваготоніки володіють найнижчим значеннями $21,15\pm 0,87$ ($P<0,001$), що вказує на вплив парасимпатичної нервової системи.

Наступні показники розраховуються на основі попередніх даних і дають змогу більш всебічно оцінити стан автономного тону. Індекс автономної рівноваги (ІАР) залежить від значень A_{Mo} та Δx і відображає баланс між симпатичною та парасимпатичною регуляцією серцевого ритму. Таким чином, прослідковується закономірність, при якій індекс автономної рівноваги зростає при високому показнику амплітуда моди та низькому варіаційному розмаху. Це виражено у свиней-симпатотоніків. На противагу їм, група-ваготоніків, у яких найнижчий показник A_{Mo} та найвищий Δx , що призводить до зниження індексу автономної рівноваги до $47,28\pm 1,74$ одиниць порівняно з тваринами-симпатикотоніками ($613\pm 37,71$). Тварини-нормотоніки займають середню

позицію, а їхній індексу автономної рівноваги нижчий від свиней-симпатотоніків на 416 одиниць та вищий від свиней-ваготоніків на 149,72 одиниці.

Показник автономного ритму є маркером активності парасимпатичної ланки вегетативної нервової системи, яка відповідає за уповільнення серцевого ритму, зниження артеріального тиску та загальне «заспокоєння» організму. Тому його зниження зазвичай вказує про домінування парасимпатичних впливів, наприклад, під час відпочинку, сну або у відповідь на седативні фактори в організмі тварин. Відповідно, серед досліджених груп свиней найвищі значення АПР відповідали тваринам-симпатотонікам, свині-нормотоніки поступаються їм на 15,97 одиниць.

Зрозуміло, що найменше значення АПР належить свиням-ваготонікам, де відповідно автономний показник ритму становив $3,59 \pm 0,22$ ($P < 0,01$).

3.2 Вплив тонусу автономної нервової системи на гематологічні показники свиней

За лабораторними дослідження крові свиней було встановлено гематологічні показники, такі як кількість еритроцитів, рівень гемоглобіну, гематокрит та середній об'єм еритроциту у свиней зі збалансованим симпатовагусним балансом (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Гематологічні показники крові свиней дослідної групи нормотоніків

| Показники | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|-------------------------------|-----|------|--------|------|-------|--------|--------|
| Еритроцити, Т/л | 5 | 0,15 | 6,43 | 0,34 | 1,76 | 6,18 | 7,01 |
| Гемоглобін, г/л | 5 | 2,46 | 130,80 | 5,50 | -0,24 | 123,00 | 138,00 |
| Гематокрит, % | 5 | 0,66 | 38,48 | 1,48 | 0,22 | 36,70 | 40,30 |
| Середній об'єм еритроциту, фл | 5 | 1,89 | 57,72 | 4,23 | -1,90 | 50,40 | 60,70 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень, СП – стандартна помилка, С – середнє значення, СВ – стандартне відхилення, А – асиметричність, Мін. – мінімальне значення, Мак. – максимальне значення

Згідно зі статистичним аналізом отриманих гематологічних показників крові свиней і врівноваженим симпато-вагусним балансом встановлено, що кількість еритроцитів у даних тварин загалом становила $6,43 \pm 0,15$ Т/л із вихідними межами мінімального 6,18 Т/л та максимального 7,01 Т/л значення серед п'яти дослідних груп тварин. Рівень гемоглобіну у дослідної групи нормотоніків становив серед п'яти дослідних $130,80 \pm 2,46$ г/л та коливався у межах від 123,00 до 138,00 г/л у досліджуваних свиней. Показники гематокриту у тварин із врівноваженим симпато-вагусним балансом мали максимальне 36,70% і мінімальне 40,30% значення та середній показник $38,48 \pm 0,66$ % серед п'яти дослідних груп свиней. Середній об'єм еритроцита у даних дослідних свиней становить в межах від 50,40 до 60,70 фл та середнім значенням $57,72 \pm 1,89$ фл. Отримані результати гематологічного дослідження мають незначні розбіжності між вихідними результатами п'яти тварин, що має високу достовірність отриманих значень.

За лабораторними дослідження крові свиней було встановлено гематологічні показники, такі як кількість еритроцитів, рівень гемоглобіну, гематокрит та середній об'єм еритроциту у свиней із перевагою впливу симпатичної нервової системи (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Гематологічні показники крові свиней дослідної групи симпатотоніків

| Показники | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|-------------------------------|-----|------|--------|------|-------|--------|--------|
| Еритроцити, Т/л | 5 | 0,15 | 5,63 | 0,33 | -1,85 | 5,05 | 5,90 |
| Гемоглобін, г/л | 5 | 1,66 | 114,20 | 3,70 | -0,61 | 109,00 | 118,00 |
| Гематокрит, % | 5 | 0,58 | 33,88 | 1,31 | 0,32 | 32,50 | 35,40 |
| Середній об'єм еритроциту, фл | 5 | 2,30 | 58,82 | 5,13 | -1,70 | 50,10 | 63,40 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень, СП – стандартна помилка, С – середнє значення, СВ – стандартне відхилення, А – асиметричність, Мін. – мінімальне значення, Мак. – максимальне значення

Згідно зі статистичним аналізом отриманих гематологічних показників крові свиней і перевагою впливу симпатичної нервової системи встановлено, що кількість еритроцитів у даних тварин загалом становило $5,63 \pm 0,15$ Т/л із вихідними межами мінімального 5,05 Т/л та максимального 5,90 Т/л значення серед п'яти дослідних груп тварин. Рівень гемоглобіну в дослідній групі симпатотоніків становив серед п'яти дослідних $114,20 \pm 1,66$ г/л та коливався в межах від 109,00 до 118,00 г/л у досліджуваних свиней. Показники гематокриту у тварин із перевагою впливу симпатичної нервової системи мали максимальне 35,40 % і мінімальне 32,50 % значення та середній показник $33,88 \pm 0,58$ % серед п'яти дослідних груп свиней. Середній об'єм еритроциту в даних дослідних свиней становить у межах від 50,10 до 63,40 фл та середнім значенням $58,82 \pm 2,30$ фл. Отримані результати гематологічного дослідження мають незначні розбіжності між вихідними результатами п'яти тварин, що має високу достовірність отриманих значень.

За лабораторними дослідженнями крові свиней було встановлено гематологічні показники, такі як кількість еритроцитів, рівень гемоглобіну, гематокрит та середній об'єм еритроциту у свиней із перевагою впливу парасимпатичної нервової системи (табл. 3.4).

Згідно зі статистичним аналізом отриманих гематологічних показників крові свиней і перевагою впливу парасимпатичної нервової системи встановлено, що кількість еритроцитів у даних тварин у загалом становило $5,67 \pm 0,10$ Т/л із вихідними межами мінімального 5,41 Т/л та максимального 6,02 Т/л значення серед п'яти дослідних груп тварин. Рівень гемоглобіну в дослідній групі ваготоніків становив серед п'яти дослідних $121,20 \pm 1,28$ г/л та коливався в межах від 118,00 до 125,00 г/л у досліджуваних свиней. Показники гематокриту у тварин із перевагою впливу парасимпатичної нервової системи мали максимальне 48,30 % і мінімальне 33,80 % значення та середній показник $37,76 \pm 2,80$ % серед п'яти дослідних груп свиней. Середній об'єм еритроциту у даних дослідних свиней становить у межах від 55,00 до 63,90 фл та середнім значенням $58,44 \pm 1,47$ фл. Отримані результати гематологічного дослідження

мають незначні розбіжності між вихідними результатами п'яти тварин, що має високу достовірність отриманих значень.

Під час аналізу кількості еритроцитів у крові дослідних груп свиней було встановлено, що у дослідної групи нормотоніків із врівноваженим симпатовагусним балансом був найбільший показник щодо дослідної групи симпатотоніків на 14 % ($P < 0,001$) та щодо дослідної групи ваготоніків на 13 % ($P < 0,01$) (рис. 3.2).

Таблиця 3.4

Гематологічні показники крові свиней дослідної групи ваготоніків

| Показники | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|-------------------------------|-----|------|--------|------|------|--------|--------|
| Еритроцити, Т/л | 5 | 0,10 | 5,67 | 0,22 | 0,97 | 5,41 | 6,02 |
| Гемоглобін, г/л | 5 | 1,28 | 121,20 | 2,86 | 0,31 | 118,00 | 125,00 |
| Гематокрит, % | 5 | 2,80 | 37,76 | 6,26 | 1,70 | 33,80 | 48,30 |
| Середній об'єм еритроциту, фл | 5 | 1,47 | 58,44 | 3,28 | 1,43 | 55,00 | 63,90 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень, СП – стандартна помилка, С – середнє значення, СВ – стандартне відхилення, А – асиметричність, Мін. – мінімальне значення, Мак. – максимальне значення

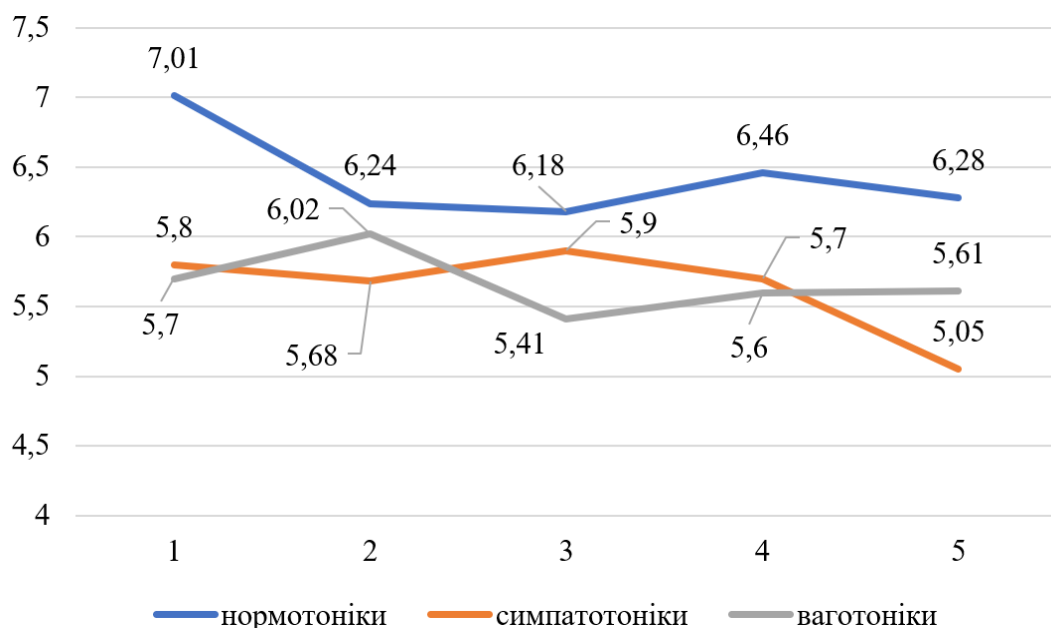


Рис. 3.2. Кількість еритроцитів у крові дослідних груп свиней

При визначенні рівня гемоглобіну у крові дослідних груп свиней було встановлено, що у дослідній групі нормотоніків із врівноваженим симпатовагусним балансом був найбільший показник щодо дослідної групи симпатотоніків на 14,5% ($P < 0,001$) та щодо дослідної групи ваготоніків на 7,8% ($P < 0,01$) (рис. 3.3).

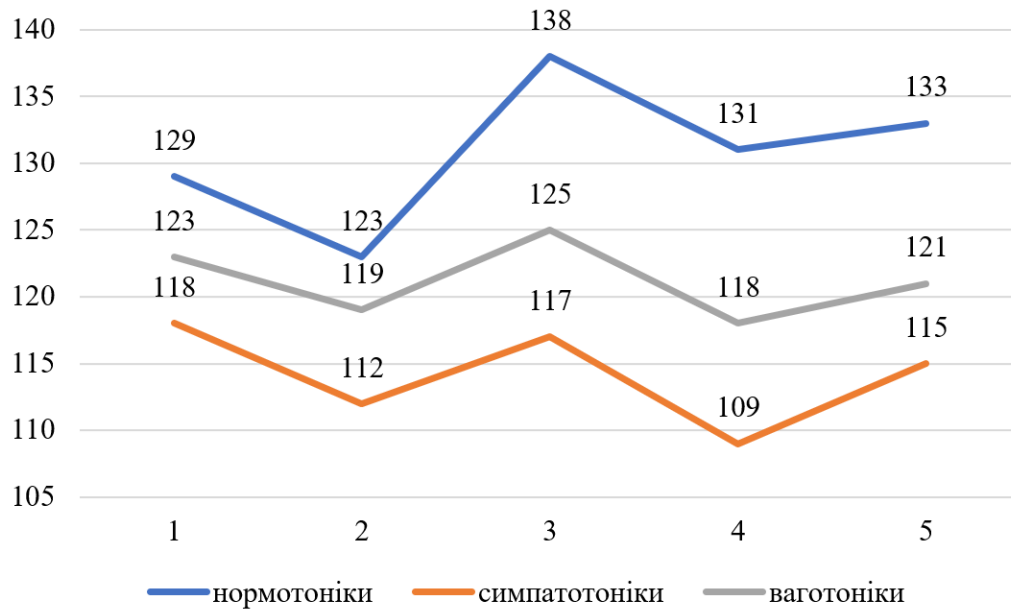


Рис. 3.3. Рівень гемоглобіну у дослідних груп свиней

За оцінки показників гематокриту у дослідних груп свиней встановлено, що стосовно нормотоніків дослідна група симпатотоніків мала найменші значення на 12% ($P < 0,01$), а дослідна група ваготоніків не мала значних відмінностей із тваринами, що мали перевагу впливу парасимпатичної нервової системи (рис. 3.4).

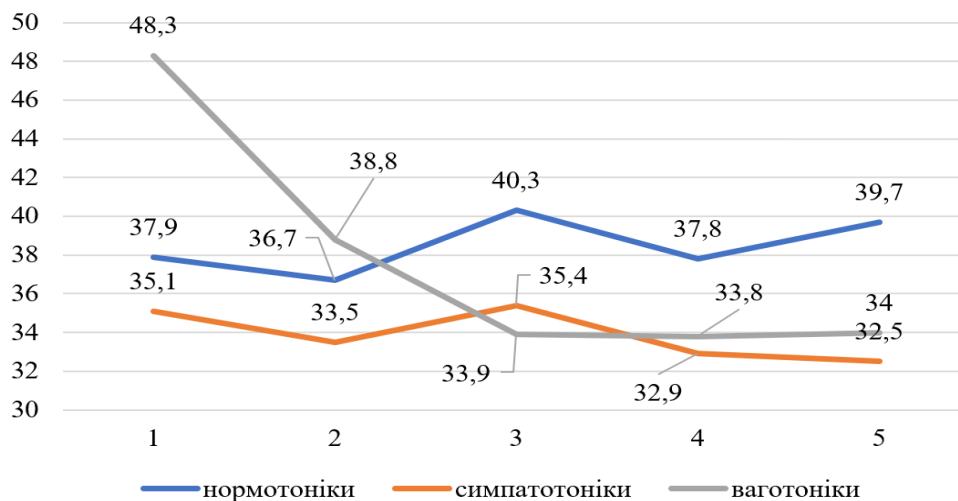


Рис. 3.4. Показники гематокриту у дослідних груп свиней

При аналізі показників середнього об'єму еритроцита у дослідних груп свиней встановлено, що отримані дані, порівнюючи із дослідною групою нормотоніків, мають незначні відмінності, що відображає мала різниця даних досліджуваних показників (рис. 3.5).

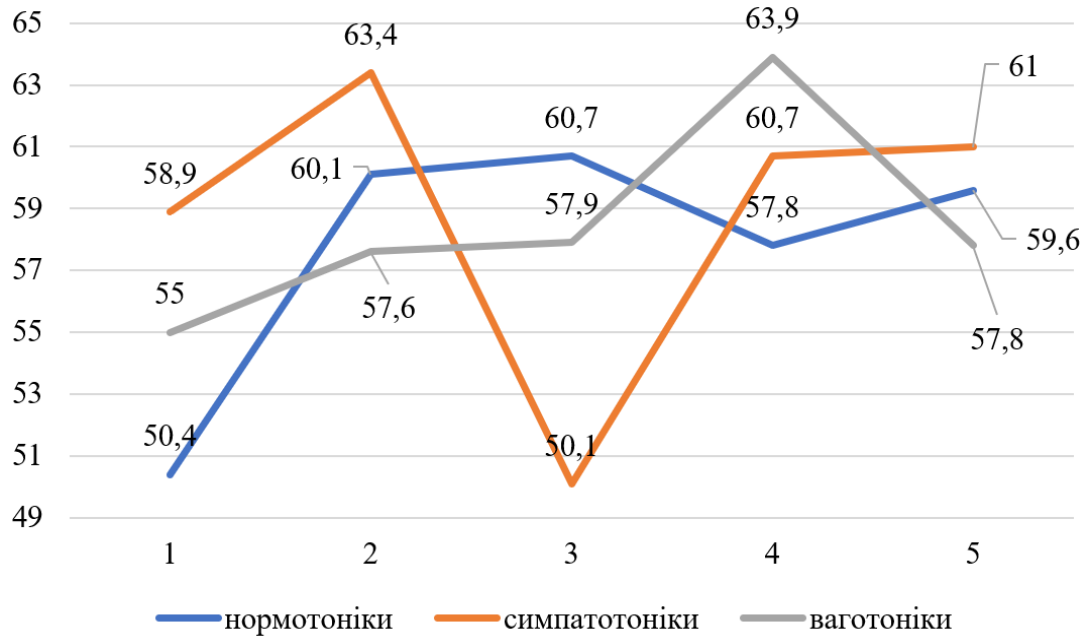


Рис. 3.5. Середній об'єм еритроцита у дослідних груп свиней

Дослідивши індивідуальні особливості свиней з боку автономної нервової системи, виявили відмінності у гематологічних показниках. Враховуючи фактор, що впливає на вміст гемоглобіну, кількість еритроцитів, гематокрит покращить аналіз та оцінку метаболічних особливостей організму свиноматок. Наслідком буде збалансування раціону годівлі, що позитивно відобразиться на отриманні молодняка.

Отже, встановлено вплив тонусу автономної нервової системи на гематологічні показники. Визначено, що кількість еритроцитів була найбільшою у нормотоніків ($P < 0,001$), також рівень гемоглобіну ($P < 0,001$). Дослідна група симпатотоніків мала найменший показник гематокриту ($P < 0,01$). Дослідна група ваготоніків мала середні показники між дослідними групами свиней.

3.3. Морфологічні показники крові свиней з різним тонусом автономної нервової системи за умов згодовування наноаквохелатів германію та заліза

На основі проведених досліджень встановлено, що задавання дослідним свиноматка наноаквохелатів германію та заліза, сприяло збільшенню кількості еритроцитів у їх крові. Варто зазначити, що у тварин-нормотоніків дослідної групи кількість еритроцитів на 10 добу досліду зросла на 5,9% порівняно з контрольною групою тоді як у тварин симпатотоніків та ваготоніків вірогідної різниці не спостерігали між дослідною та контрольною групами. На 40 добу досліду встановлено що найнижча кількість еритроцитів була у крові свиноматок-ваготоніків контрольної та дослідної груп. Дещо вищою кількістю еритроцитів була у свиноматок-симпатотоніків і найбільшою – у тварин-нормотоніків. Так, кількість еритроцитів у вказаний період у крові дослідної групи тварин-симпатотоніків підвищилася на 2,6%, та у тварин-нормотоніків дослідної групи – на 10,8% ($P < 0,05$) порівняно з контролем (рис. 3.6).

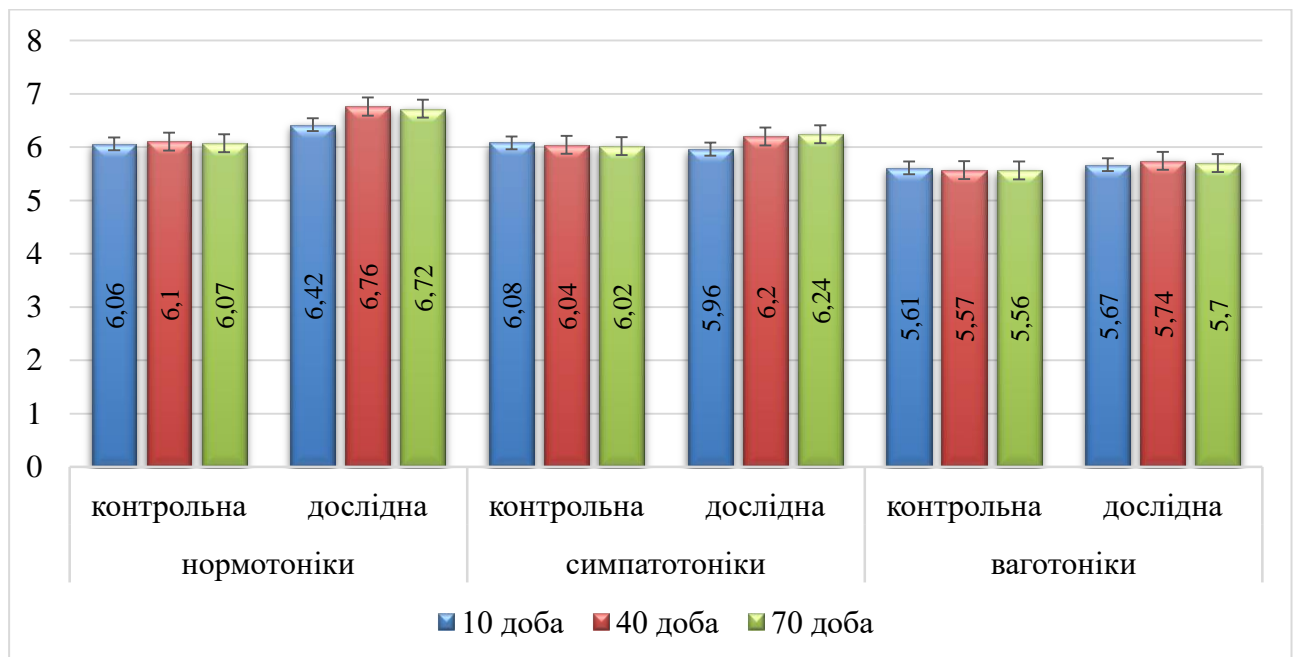


Рис. 3.6. Кількість еритроцитів в крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, Т/л ($M \pm m$, $n=5$)

Варто також зазначити, що на 70 добу досліду кількість еритроцитів була найнижчою у дослідної групи тварин-ваготоніків, дещо вищою у тварин-симпатотоніків і найвищою у нормотоніків. При порівнянні даних показників з

показниками контрольних груп встановлено, що кількість еритроцитів у крові тварин-ваготоніків дослідної групи зросла на 2,5%, у тварин-симпатотоніків – на 3,7% ($P < 0,05$) та тварин-нормотоніків – на 10,7% ($P < 0,01$) відповідно.

При дослідженні кількості лейкоцитів встановлено, що задавання наноаквохелатів германію та заліза свиноматкам дослідних груп на 10 добу досліді сприяло зростанню даного показника у всіх дослідних групах. На 40 добу досліді кількість лейкоцитів у крові свиноматок-нормотоніків дослідної групи зросла на 4,8% ($P < 0,05$), а у тварин-симпатотоніків дослідної групи навпаки знизилася на 3,9% порівняно з контрольною групою (рис. 3.7).

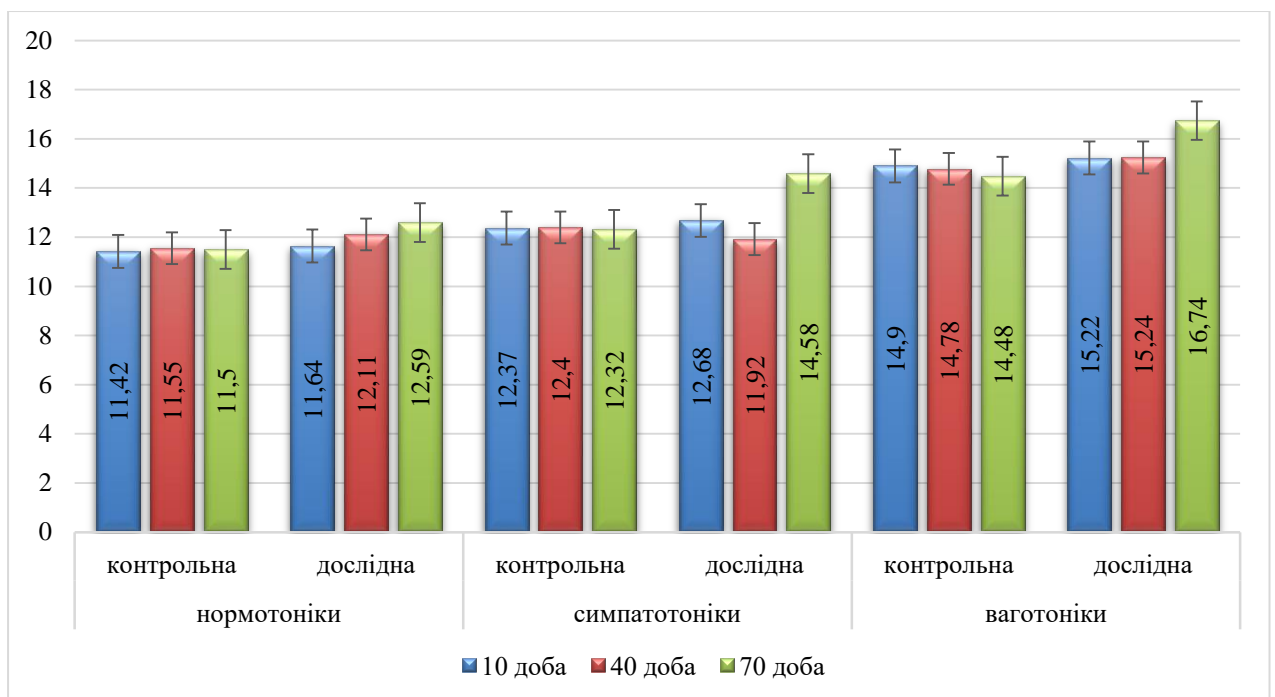


Рис. 3.7. Кількість лейкоцитів в крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, Г/л ($M \pm m$, $n=5$)

Найбільшою кількістю лейкоцитів у вказаний період досліді була у тварин-ваготоніків дослідної групи, де відповідно з показниками контрольної групи зросла на 3,1%.

На 70 добу досліді кількість лейкоцитів у всіх дослідних групах продовжувала зростати, так кількість лейкоцитів у крові тварин-нормотоніків зросла на 9,5% ($P < 0,05$), у тварин-симпатотоніків – на 18,3% ($P < 0,01$) та у тварин-ваготоніків – на 15,6% ($P < 0,01$) порівняно з показниками контрольних груп. Однак варто зазначити, що найвищою кількістю досліджуваного

показника була у крові тварин-ваготоніків дослідної групи, яким задавали наноаквохелати германію та заліза. Найнижчою кількістю лейкоцитів на 70 добу дослідження була у тварин-нормотоніків.

Щодо визначення вмісту гемоглобіну у крові свиноматок дослідних груп, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено його збільшення протягом усього дослідження. Так, у свиноматок-нормотоніків дослідної групи вміст гемоглобіну на 10 добу дослідження збільшився на 13,3% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. На 40 і 70 доби дослідження рівень гемоглобіну у крові свиноматок-нормотоніків дослідної групи коливався у фізіологічних межах. У контрольній групі свиноматок-симпатотоніків встановлено найнижчий вміст гемоглобіну у їх крові протягом усього дослідження. Лише при задоволенні наноаквохелатів германію та заліза свиноматкам дослідної групи встановлено вірогідне зростання вмісту гемоглобіну у їх крові на 40 і 70 доби дослідження.

При дослідженні вмісту гемоглобіну у крові свиноматок-ваготоніків встановлено незначне його зростання у крові дослідної групи тварин на 10 і 40 добу дослідження, тоді як на 70 добу дослідження вміст гемоглобіну зріс на 6,5% порівняно з контрольною групою (рис. 3.8).

Таким чином на основі проведених досліджень встановлено, що наноаквохелати германію та заліза позитивно впливали на вміст гемоглобіну у всіх дослідних групах. Однак варто зазначити що найвищих величин він досягав у тварин першої дослідної групи.

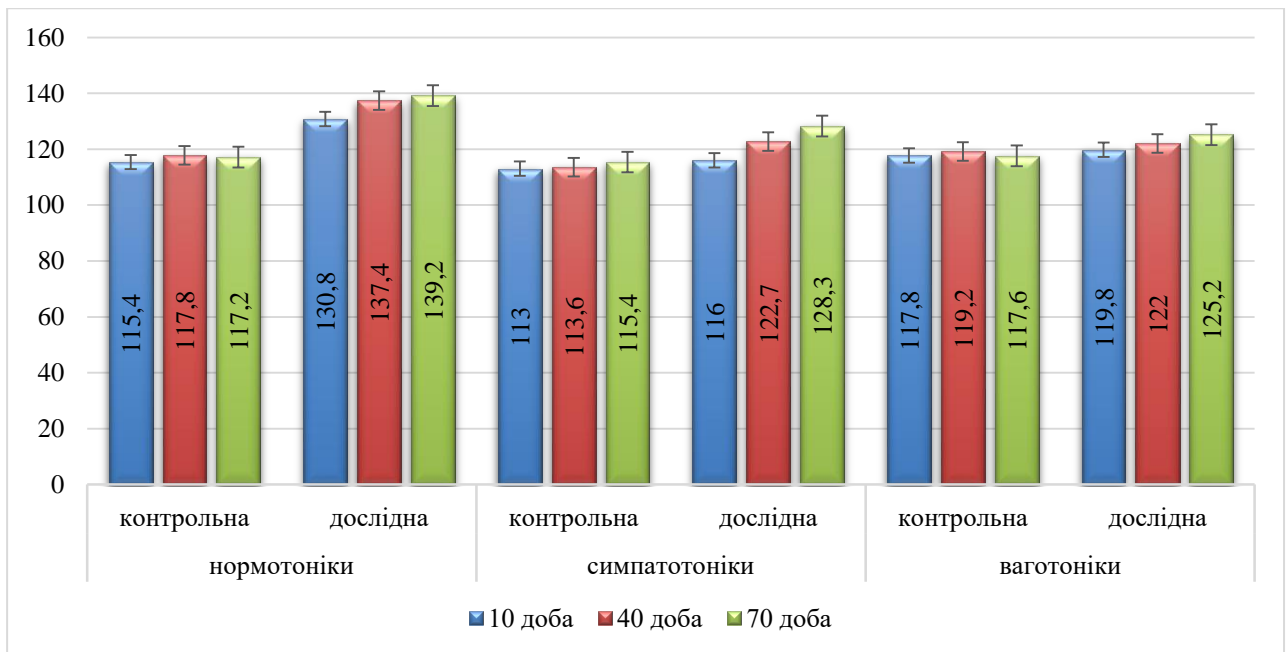


Рис. 3.8. Вміст гемоглобіну в крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, г/л ($M \pm m$, $n=5$)

Показники гематокриту крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза наведені на рисунку 3.9. Встановлено, що найнижчим гематокрит крові був у свиноматок-симпатотоніків контрольної групи, тоді як найвищим – у свиноматок-нормотоніків. При задаванні свиноматкам дослідних груп наноаквохелатів германію та заліза встановлено, що гематокритна величина крові на 10 добу дослідження становила у тварин-нормотоніків $38,48 \pm 0,66\%$, у симпатотоніків $35,56 \pm 1,77\%$ і у ваготоніків $37,76 \pm 2,80\%$ відповідно. Вірогідне зростання досліджуваного показника встановлено на 40 і 70 доби дослідження у всіх дослідних групах, а саме: на 3,66 і 3,68% у свиноматок-нормотоніків, на 3,13 і 3,47% у свиноматок-симпатотоніків, та на 2,34 і 2,54% у свиноматок-ваготоніків. Варто також зазначити, що найвищою гематокритна величина була у дослідній групі свиноматок-нормотоніків, дещо нижчою у свиноматок-ваготоніків і найнижчою у свиноматок-симпатотоніків.

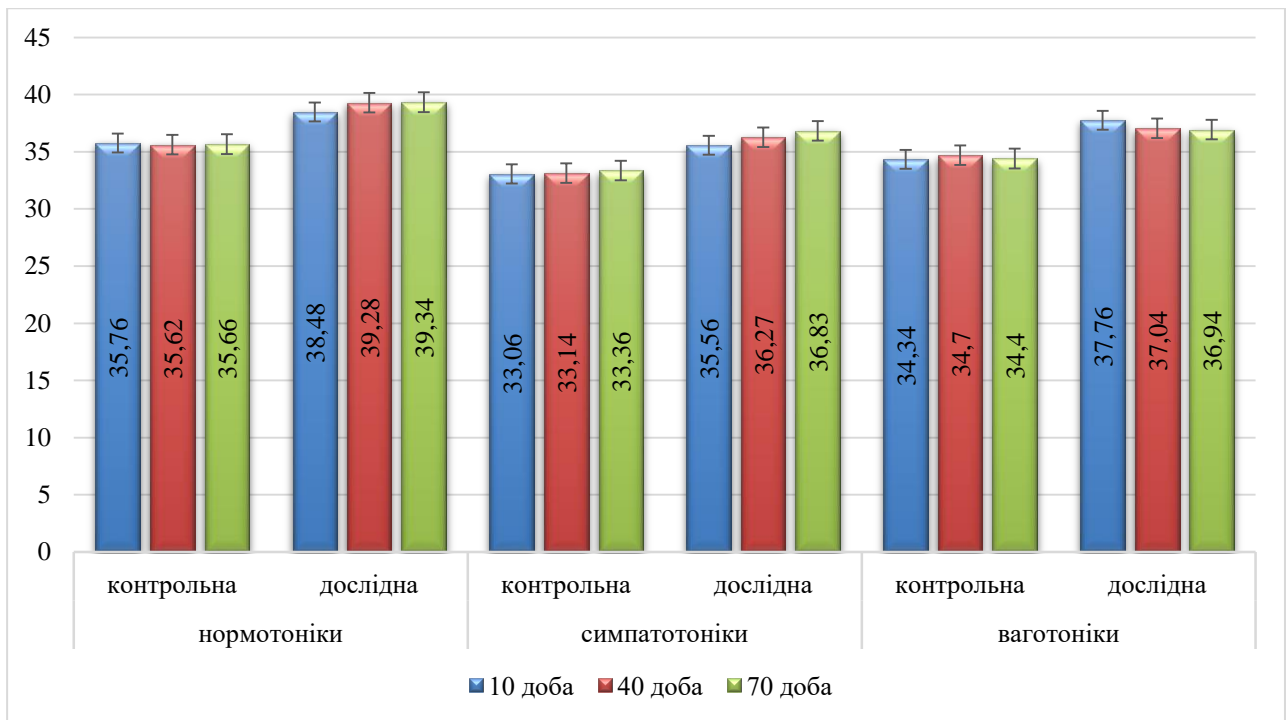


Рис. 3.9. Показник гематокриту крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, % ($M \pm m$, $n=5$)

Для визначення співвідношення між кількістю еритроцитів і насиченням їх гемоглобіну у клінічній практиці використовуються так звані індекси червоної крові. Встановлено, що середній об'єм еритроцита крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза на 10 добу дослідження був найнижчим у свиноматок-нормотоніків (рис. 3.10). Така тенденція зберігалася протягом усього дослідження. Також варто зазначити, що протягом усього дослідження у крові дослідних груп поступово збільшувався середній об'єм еритроцита крові і відповідно на 70 добу дослідження особливо у свиноматок-симпатотоніків даний показник зріс на 7,3% ($P<0,05$).

При порівнянні показників дослідної групи з показниками контрольної встановлено, що середній об'єм еритроцита крові свиноматок-симпатотоніків був вищим на 10, 40 і 70 доби, тоді як у свиноматок-нормотоніків – лише на 40 добу дослідження.

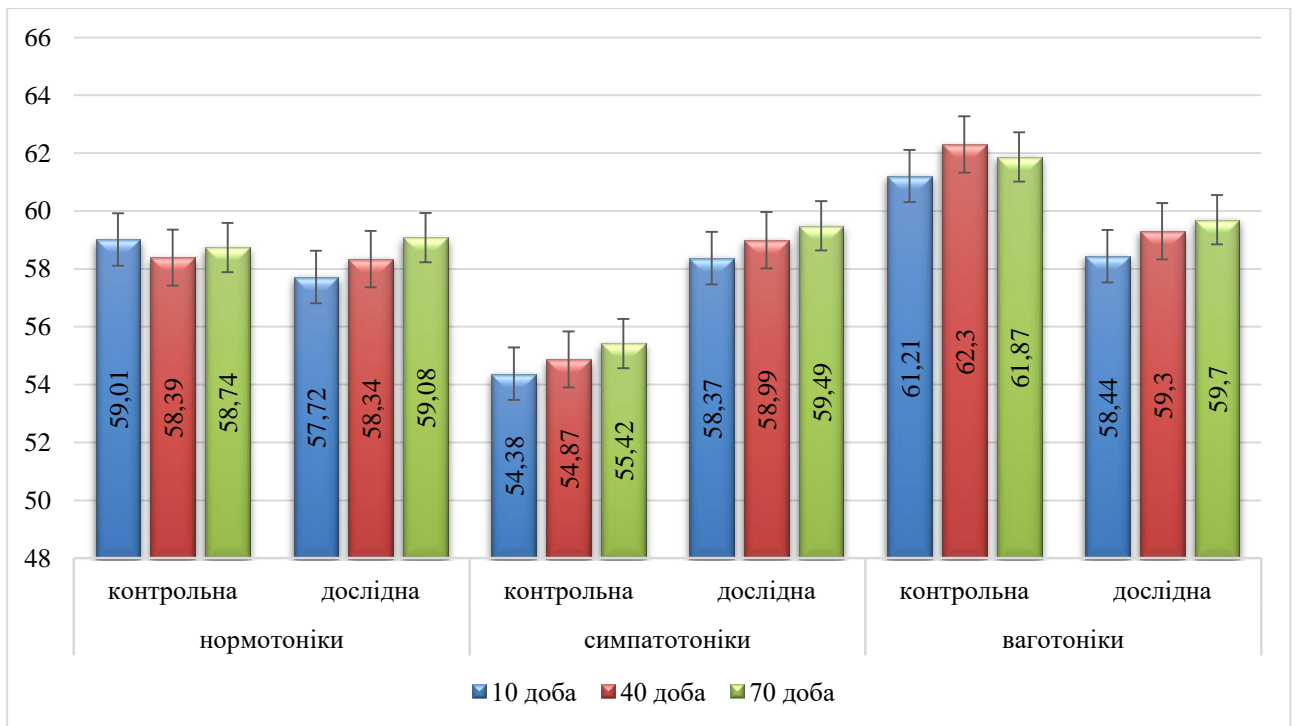


Рис. 3.10. Середній об'єм еритроцита крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, $\mu\text{км}^3$ ($M \pm m$, $n=5$)

Щодо визначення середнього вмісту гемоглобіну в еритроцитах крові свиноматок дослідних груп встановлено, що даний показник на 10 добу дослідження був найвищим у крові свиноматок-ваготоніків, тоді як на 40 і 70 доби дослідження середній вміст гемоглобіну в еритроциті крові свиноматок-нормотоніків був найвищим (рис. 3.11).

Найнижчим середній вміст гемоглобіну в еритроциті на 70 добу дослідження був у крові свиноматок-ваготоніків, тоді як у першій і другій дослідній групі показник значно вищим. При порівнянні даного показника з даними контрольних груп, то встановлено його збільшення у дослідних групах свиноматок-нормотоніках та симпатотоніках у всі періоди досліджень, а саме: на 10, 40 і 70 доби дослідження.

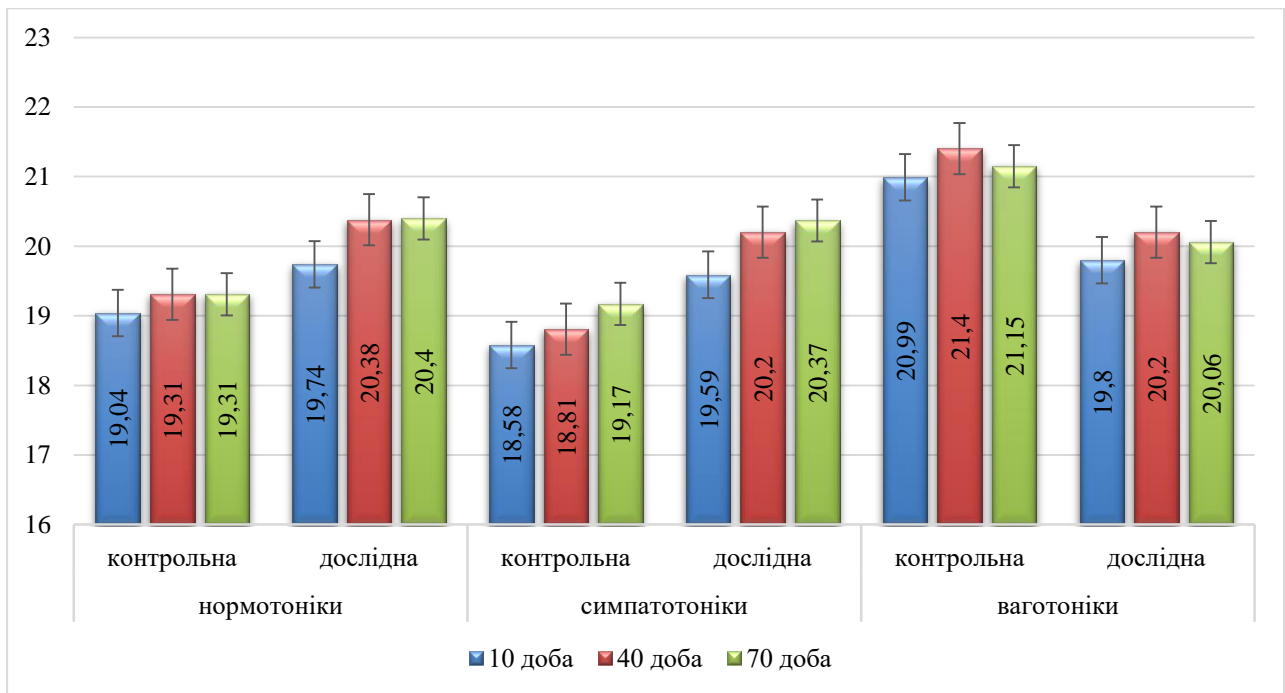


Рис. 3.11. Середній вміст гемоглобіну в еритроциті крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, пг ($M \pm m$, $n=5$)

Щодо визначення середньої концентрації гемоглобіну в еритроцитах крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза встановлено, що у нормотоніків контрольної групи показник поступово зростає від 10-ї до 40-ї доби, з незначним зниженням на 70-ту добу. У дослідній групі нормотоніків встановлено більш виражене підвищення середньої концентрації гемоглобіну вже на 40 добу, а на 70-ту добу показник досягав максимальних значень серед усіх досліджуваних груп (рис. 3.12).

У симпатотоніків контрольної групи динаміка змін характеризувалася незначним зростанням показника протягом дослідження. У дослідній групі спостерігалось підвищення концентрації гемоглобіну на 40 добу, однак на 70-ту добу показник дещо знижувався порівняно з попередньою добою, хоча залишався на рівні контрольних значень. Це може вказувати про менш виражену, але стабілізуючу дію наноаквохелатів у тварин із переважанням симпатичного тону.

У ваготоніків контрольної групи показник мав відносно стабільний характер із незначними коливаннями впродовж дослідження. У дослідній групі на 40

добу відмічалось підвищення середньої концентрації гемоглобіну, тоді як на 70 добу спостерігалось помірне зниження досліджуваного показника.

Порівняльний аналіз показав, що найбільш виражений позитивний ефект застосування наноаквохелатів германію та заліза щодо підвищення середньої концентрації гемоглобіну спостерігався у свиноматок-нормотоніків дослідної групи. Менш інтенсивні, але позитивні зміни відмічено у симпатотоніків і ваготоніків.

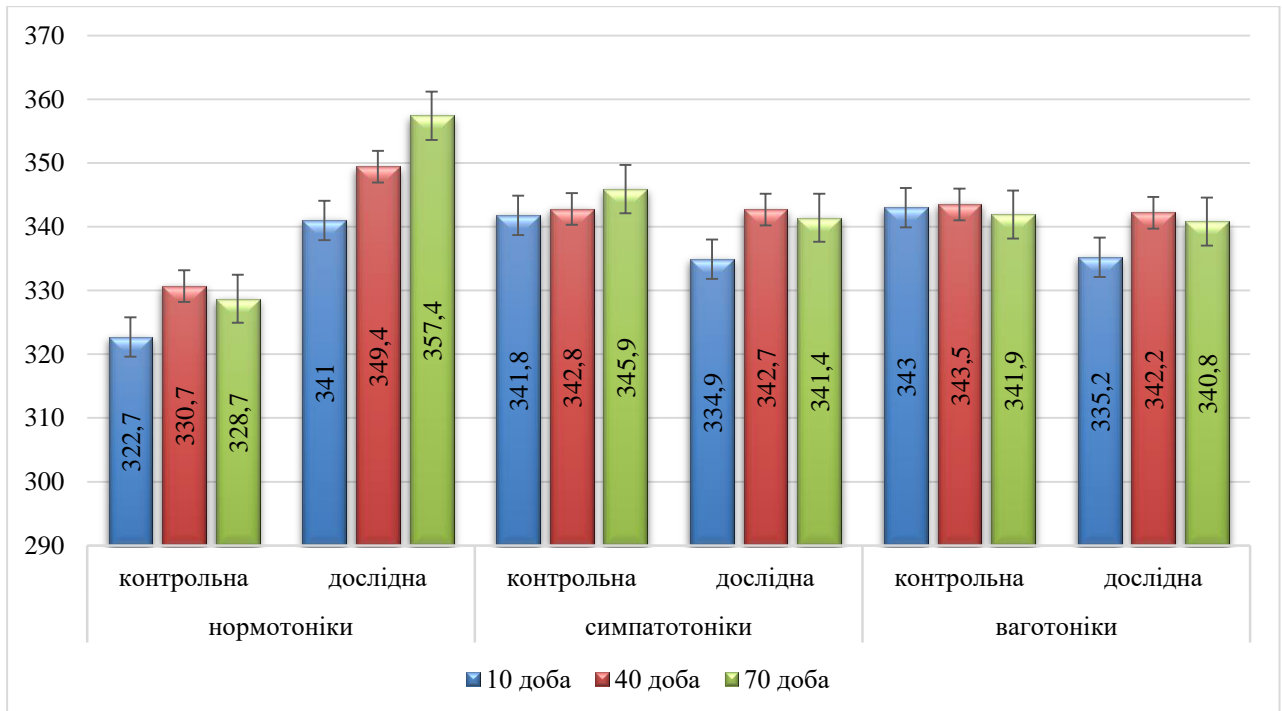


Рис. 3.12. Середня концентрація гемоглобіну в еритроцитах крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, г/дл ($M \pm m$, $n=5$)

Для позначення ступеня гетерогенності існує спеціальний індекс – RDW («ширина розподілу червоних клітин») або індекс анізоцитозу еритроцитів. Тобто, даний індекс показує неоднорідність розмірів популяції еритроцитів у досліджуваних зразках. Встановлено, що даний показник на 10 добу дослідження був найнижчим у тварин дослідної групи (ваготоніків), яким задавали наноаквохелати германію та заліза. У вказаний період дослідження також встановлено найвищий його показник у тварин дослідної групи (симпатотоніків). На 40 і 70 доби дослідження ширина розподілу червоних клітин (RDW) крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза була

найнижчою у свиноматок-ваготоніків, дещо вищою у свиноматок-нормотоніків і найвищою у свиноматок-симпатотоніків (рис. 3.13).

При порівнянні з показниками контрольних груп, то даний показник протягом усього досліджу у всіх дослідних групах залишався високим.

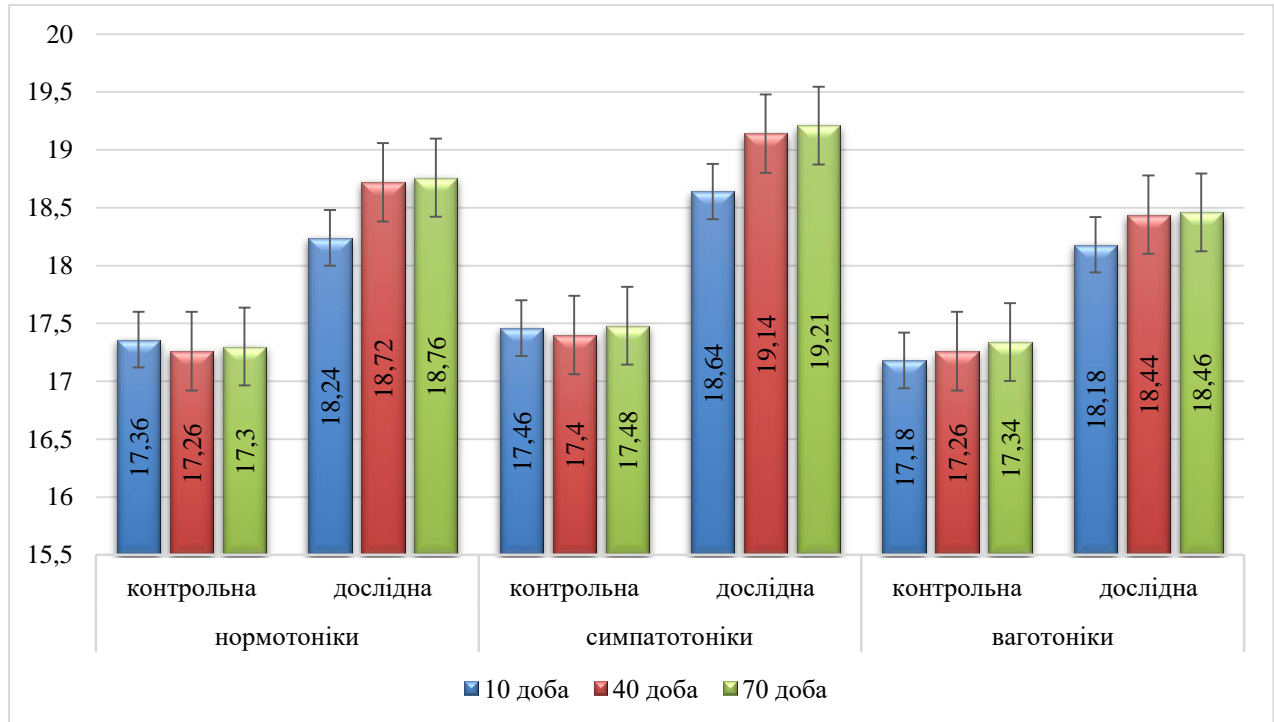


Рис. 3.13. Ширина розподілу червоних клітин (RDW) крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, % ($M \pm m$, $n=5$)

Реакція організму тварин за умов дії комплексу наноаквахелатів германію та заліза характеризується різноманітністю залежно від тонуру автономної нервової системи

Отже, на основі проведених досліджень встановлено позитивний вплив наноаквохелатів германію та заліза на морфологічні показники супоросних свиноматок з різним тонуру автономної нервової системи.

3.4. Стан імунної системи організму свиней з різним тонуру автономної нервової системи за умов згодовування наноаквохелатів германію та заліза

За результатами статистичного аналізу (таблиця 3.5) визначено зміни бактерицидної активності сироватки крові свиноматок-нормотоніків під впливом наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди експерименту, а саме на 10, 40 та 70 доби досліджень. На 10 добу досліджу бактерицидна

активність сироватки крові свиноматок-нормотоніків дослідної групи зросла на 2,88% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Значення стандартної похибки вказує на низьку варіабельність отриманих результатів, а стандартне відхилення підтверджує достатню однорідність вибірки.

Таблиця 3.5

Бактерицидна активність сироватки крові свиноматок-нормотоніків за дії наноаквахелатів германію та заліза, %

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,63 | 60,20 | 1,42 | -0,43 | 58,23 | 61,72 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,71 | 63,08 | 1,58 | -0,34 | 61,23 | 64,57 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,87 | 60,23 | 1,94 | -0,62 | 57,68 | 62,12 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,67 | 64,16 | 1,49 | 0,50 | 62,34 | 66,32 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,90 | 60,54 | 2,01 | 4,84 | 57,88 | 62,72 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,67 | 64,28 | 1,50 | 0,43 | 62,44 | 66,41 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Показник асиметричності мав від’ємне значення як у контролі, так і досліді, що характеризує рівномірний розподіл даних із незначним зсувом ліворуч. Різниця між максимальним і мінімальним значеннями вказує про невеликий розкид значень, що підтверджує стабільність показника у даний період експерименту.

На 40 добу досліді встановлено підвищення бактерицидної активності крові свиномато-нормотоніків дослідної групи на 3,93% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Стандартна помилка та стандартне відхилення характеризують дані як помірно варіабельні. Значення асиметричності у контрольній групі було від’ємним, тоді як у дослідній навпаки позитивним, що вказує про зміну напрямку розподілу даних і відображає більш виражене зміщення вправо під впливом наноаквахелатів германію та заліза. Різниця між

максимальним і мінімальним значеннями вказує про відносну однорідність вибірки у межах фізіологічних величин.

Бактерицидна активність крові свиноматок-нормотоніків дослідної групи на 70 добу досліду підвищилася на 3,74% ($P < 0,05$) порівняно з контролем. Дані результати вказують про збереження стабільно вищих показників у тварин, яким згодовували наноаквохелати германію та заліза. Значення стандартної похибки та стандартного відхилення вказують на невисоку варіабельність даних. Показник асиметричності був позитивним у обох групах, що вказує про переважання правостороннього розподілу із більшою концентрацією значень нижче середнього. Межі коливання показників підтверджують незначні розбіжності в одержаних результатах.

Узагальнюючи, можна зазначити, що введення наноаквохелатів германію та заліза сприяло підвищенню бактерицидної активності сироватки крові свиноматок-нормотоніків на всіх етапах експерименту. Для дослідних тварин характерна менша варіабельність результатів, вища середня активність та стабільний розподіл показників, що вказує про позитивний вплив наноаквохелатів на неспецифічну резистентність організму свиноматок.

Проведений кореляційний аналіз дозволив оцінити взаємозв'язок між бактерицидною активністю сироватки крові (БАСК) та показниками вегетативної регуляції: індексом напруги (ІН), індексом автономної рівноваги (ІАР) та автономним показником ритму (АПР) у динаміці експерименту.

На початковому етапі дослідження (10 доба) у свиноматок-нормотоніків контрольної групи встановлено виражену пряму кореляційну залежність між показниками вегетативної регуляції та бактерицидною активністю сироватки крові. Це вказує про мобілізаційний характер гуморальної неспецифічної резистентності, коли зростання регуляторного напруження супроводжується активацією бактерицидних механізмів.

У свиноматок-нормотоніків дослідної групи на 10 добу спостерігається зміна напрямку кореляції, де відповідно індекс напруги ($r = (-0,525)$) мав помірний/виражений обернений зв'язок, індекс автономної регуляції

($r = (-0,256)$) слабкий негативний зв'язок та автономний показник ритму ($r = (-0,199)$) слабкий негативний зв'язок (рис. 3.14). Це може вказувати про зменшення залежності бактерицидної активності сироватки крові від ступеня вегетативного напруження, що вказує на стабілізуючий та модулюючий вплив наноаквахелатів на нейроімунну регуляцію.

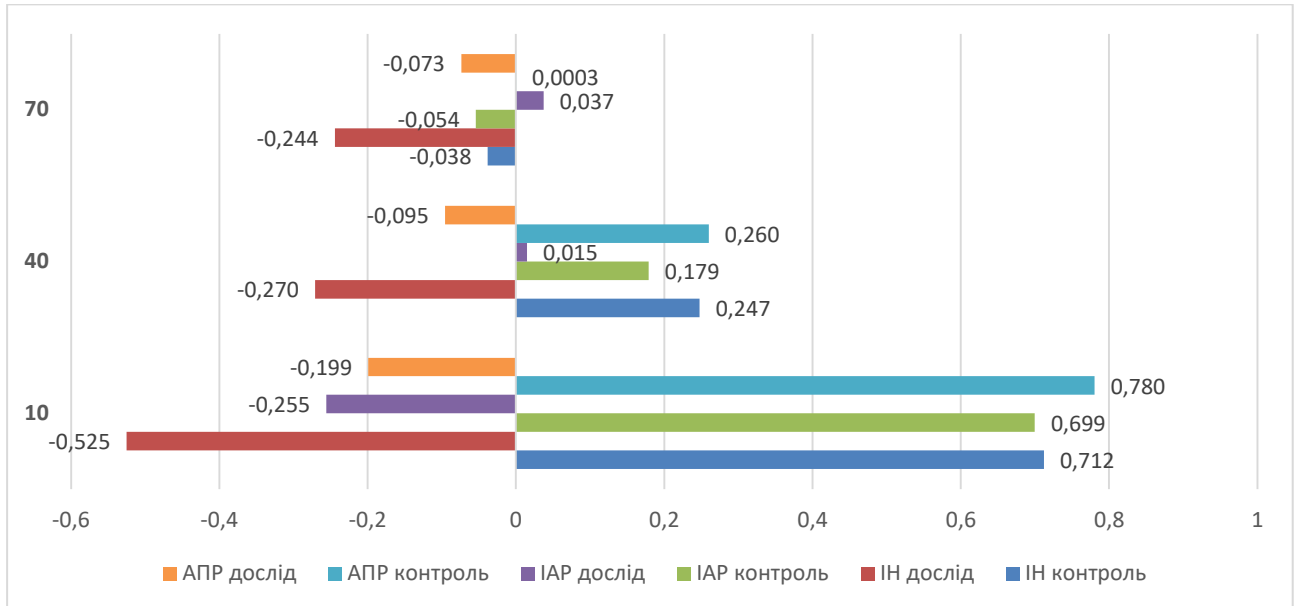


Рис. 3.14. Кореляційна залежність бактерицидної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

На 40 і 70 добу досліді сила кореляцій суттєво зменшується у свиноматок-нормотоніків контрольної групи, що вказує про ослаблення функціональної залежності між вегетативними показниками та гуморальною резистентністю.

У свиноматок-нормотоніків дослідної групи зберігається тенденція до слабкого оберненого зв'язку між ІН та БАСК, однак функціональна залежність є мінімальною. Водночас відсутність суттєвих кореляцій із ІАР та АПР вказує на мінімальний вплив вегетативного балансу на рівень бактерицидної активності сироватки крові на завершальному етапі дослідження.

За результатами проведеного статистичного аналізу (табл. 3.6) встановлено зміни бактерицидної активності сироватки крові свиноматок-ваготоніків за впливу наноаквахелатів германію та заліза відповідно на 10, 40 та 70 доби експерименту. Так, на 10 добу досліді бактерицидна активність сироватки

крові свиноматок-ваготоніків дослідної групи підвищилася на 3,07% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою свиноматок-ваготоніків. Значення стандартної похибки у даний період дослідження підтверджують високу точність вимірювань та невелику перемінність результатів. Показники стандартного відхилення характеризують дані як помірно варіабельні, а коефіцієнт асиметричності відображає зміну розподілу від слабкої лівосторонньої до помірної правосторонньої асиметрії. Мінімальні та максимальні значення вказують про стабільний розподіл показників у межах фізіологічних величин.

Бактерицидна активність сироватки крові свиноматок-ваготоніків дослідної групи на 40 добу підвищилася відповідно на 3,06% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Значення стандартної похибки вказують на високу однорідність вибірки, а стандартне відхилення – на незначну варіабельність даних. Показник асиметричності змінювався з від'ємного на позитивний, що демонструє вирівнювання розподілу даних, а також відсутність суттєвих відхилень. Діапазон значень підтверджує сталість та відтворюваність результатів дослідження.

На 70 добу досліду бактерицидна активність сироватки крові свиноматок-ваготоніків дослідної групи підвищилася на 3,75% ($P < 0,01$) відносно контролю. Значення стандартної похибки і стандартного відхилення вказують про зменшення варіабельності даних у динаміці експерименту. Асиметричність показників мала тенденцію до позитивної, що вказує на перехід розподілу даних від лівостороннього до помірно правостороннього типу, характерного для більш високих індивідуальних значень. Різниця між максимальним і мінімальним значеннями підтверджує високу стабільність і узгодженість отриманих результатів.

**Бактерицидна активність сироватки крові свиноматок-ваготоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,81 | 58,03 | 1,80 | -0,48 | 55,87 | 59,61 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,67 | 61,10 | 1,50 | 1,05 | 59,67 | 63,44 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,70 | 58,87 | 1,56 | -0,56 | 57,12 | 60,23 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,64 | 61,93 | 1,44 | 0,20 | 60,08 | 63,91 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,68 | 58,80 | 1,52 | -0,62 | 56,97 | 60,03 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,55 | 62,55 | 1,22 | 0,87 | 61,49 | 64,34 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Узагальнюючи результати досліджень, можна стверджувати, що застосування наноаквохелатів германію та заліза дослідним тваринам сприяло достовірному підвищенню бактерицидної активності сироватки крові свиноматок-ваготоніків на всіх етапах експерименту. Отримані дані вказують про позитивну динаміку активації природних факторів неспецифічної резистентності та підвищення функціональної активності імунної системи за впливу досліджуваних препаратів.

Аналіз кореляційної залежності між бактерицидною активністю сироватки крові (БАСК) та показниками автономної нервової системи у ваготоніків показав, що характер взаємозв'язків суттєво відрізнявся між контрольною та дослідною групами і змінювався в динаміці досліду.

У контрольній групі свиноматок-ваготоніків простежувалася стійка обернена залежність між автономним показником ритму (АПР) та БАСК, причому сила кореляції залишалася високою протягом усього періоду спостереження ($r = (-0,72) \dots (-0,85)$). Водночас зв'язки між БАСК та індексом напруги були відсутні або дуже слабкі, а з індексом автономної рівноваги – слабкі негативні (рис. 3.15). Отримані результати вказують про тісну

функціональну залежність гуморальної неспецифічної резистентності від параметрів автономного ритму за умов парасимпатичного домінування.

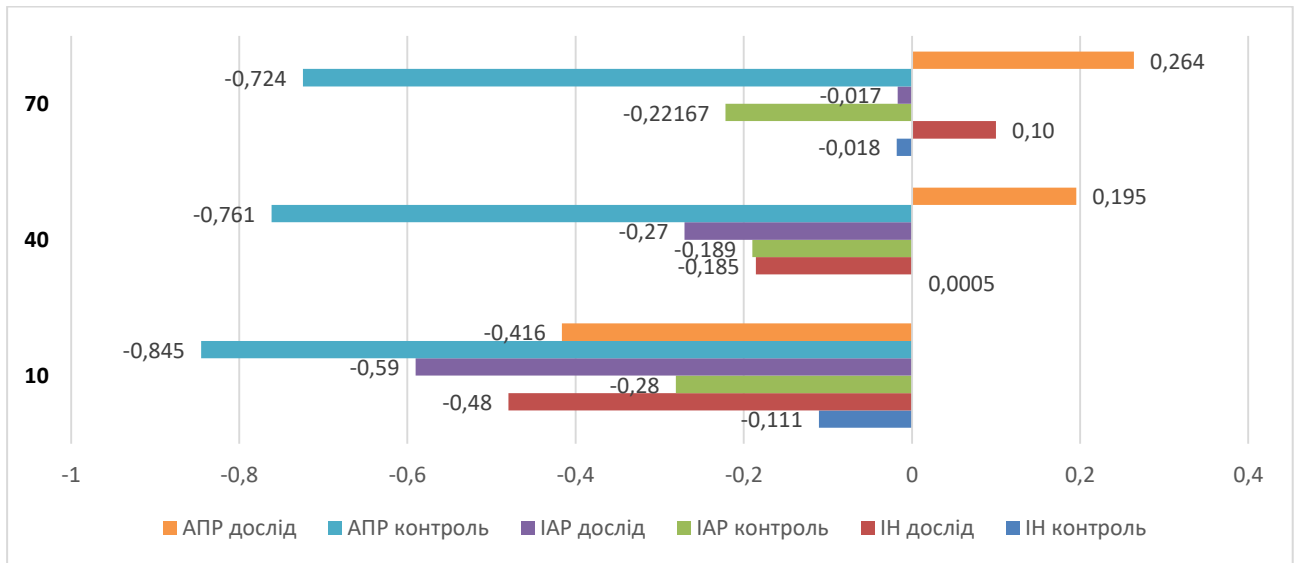


Рис. 3.15. Кореляційна залежність бактерицидної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У дослідній групі свиноматок-ваготоніків на 10 добу дослідження встановлено помірні обернені кореляційні зв'язки між БАСК та всіма досліджуваними показниками автономної регуляції (ІН, ІАР, АПР), що вказує про зворотну залежність рівня бактерицидної активності сироватки крові від ступеня вегетативної активності. У подальшій динаміці сила даних взаємозв'язків поступово зменшувалася, а окремі кореляції змінювали напрям або нівелювалися, що відображало послаблення функціональної залежності БАСК від автономних впливів.

Таким чином, у ваготоніків контрольної групи бактерицидна активність сироватки крові зберігала тісний обернений зв'язок із автономним показником ритму, тоді як у дослідній групі відзначено поступове зменшення кореляційної залежності між показниками автономної нервової системи та гуморальною ланкою неспецифічної резистентності. Отримані дані вказують про зміну характеру нейровегетативної регуляції імунних процесів за умов застосування досліджуваного препарату.

За результатами статистичної обробки даних таблиці 3.7, встановлено зміни бактерицидної активності сироватки крові свиноматок із перевагою симпатотонії за впливу наноаквохелатів германію та заліза на 10, 40 та 70 доби експерименту.

Зокрема, на 10 добу досліду середнє значення бактерицидної активності сироватки крові свиноматок-симпатотоніків дослідної групи зросло на 2,18% ($P < 0,05$) порівняно зі значеннями контрольної групи. Варто зазначити, що стандартна похибка була низькою і вказує на високу точність вимірювань, а стандартне відхилення підтверджує малу варіабельність даних. Показник асиметричності у свиноматок контрольної групи мав незначне від'ємне значення, тоді як у дослідній – позитивне, що вказує про перехід розподілу від лівостороннього до слабко правостороннього типу. Різниця між максимальним і мінімальним значеннями характеризує сталість результатів і високу однорідність вибірки.

Таблиця 3.7

Бактерицидна активність сироватки крові свиноматок-симпатотоніків за дії наноаквохелатів германію та заліза, %

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,49 | 61,94 | 1,10 | -0,34 | 60,38 | 63,28 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,45 | 64,12 | 1,02 | 0,62 | 63,15 | 65,49 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,67 | 62,03 | 1,51 | 0,09 | 59,98 | 64,14 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,37 | 64,97 | 0,83 | 0,16 | 63,94 | 66,05 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,67 | 62,22 | 1,49 | 0,19 | 60,23 | 64,32 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,38 | 65,16 | 0,85 | -0,14 | 64,01 | 66,24 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

На 40 добу експерименту бактерицидна активність сироватки крові свиноматок дослідної групи підвищилася на 2,94% ($P < 0,01$) порівняно з котнрольною групою. Значення стандартної похибки вказує на зменшення

коливань результатів у дослідній групі свиноматок. Стандартне відхилення вказує про зниження варіабельності даних майже удвічі, що характеризує підвищення стабільності фізіологічних реакцій. Показник асиметричності залишався незначним, що відображає наблизений до нормального розподіл даних. Межі коливань вказують про високу узгодженість результатів у межах вибірки.

На 70 добу бактерицидна активність сироватки крові дослідних свиноматок зросла на 2,9% ($P < 0,01$), що підтверджує стійкий позитивний ефект застосування наноаквохелатів германію та заліза. Значення стандартної похибки і стандартного відхилення вказує про зниження варіабельності даних у дослідній групі. Показник асиметричності у контролі був слабо позитивним, а в дослідній групі набув від'ємного значення. Різниця між максимальним і мінімальним значеннями підтверджує високу однорідність вибірки та сталість ефекту наноаквохелатів германію та заліза.

Отже на основі аналізу результатів досліджень, можна зробити висновок, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків сприяло достовірному підвищенню бактерицидної активності сироватки крові на всіх етапах дослідження. Для тварин дослідної групи характерні менша варіабельність показників, стабільність фізіологічних реакцій та нормальний розподіл даних, що вказує про позитивний вплив наноаквохелатів на неспецифічну резистентність та імунну реактивність організму.

Аналіз кореляційної залежності між бактерицидною активністю сироватки крові (БАСК) та показниками автономної нервової системи у свиноматок-симпатикотоніків показав виражені відмінності між контрольною та дослідною групами, а також зміни характеру взаємозв'язків у динаміці досліду. Так, у контрольній групі свиноматок-симпатикотоніків простежується стійкий сильний позитивний зв'язок між індексом напруги (ІН) та БАСК ($r = 0,81-0,85$), а також між індексом автономної рівноваги (ІАР) та БАСК ($r = 0,62-0,69$).

Зв'язок між автономним показником ритму (АПР) і БАСК має слабкий позитивний характер (рис. 3.16).

У свиноматок-симпатотоніків дослідної групи на 10 добу досліду зберігається позитивна кореляція між ІН та БАСК, однак в подальшій динаміці зменшується до слабого рівня. Подібна тенденція спостерігається і для ІАР, де кореляційний зв'язок залишається слабким позитивним упродовж усього періоду досліду. Водночас між автономним показником ритму та БАСК у дослідній групі свиноматок-симпатотоніків формується помірний обернений зв'язок ($r=(-0,58)$), що вказує про зміну напрямку взаємодії між параметрами автономної регуляції та гуморальною ланкою неспецифічного імунітету.

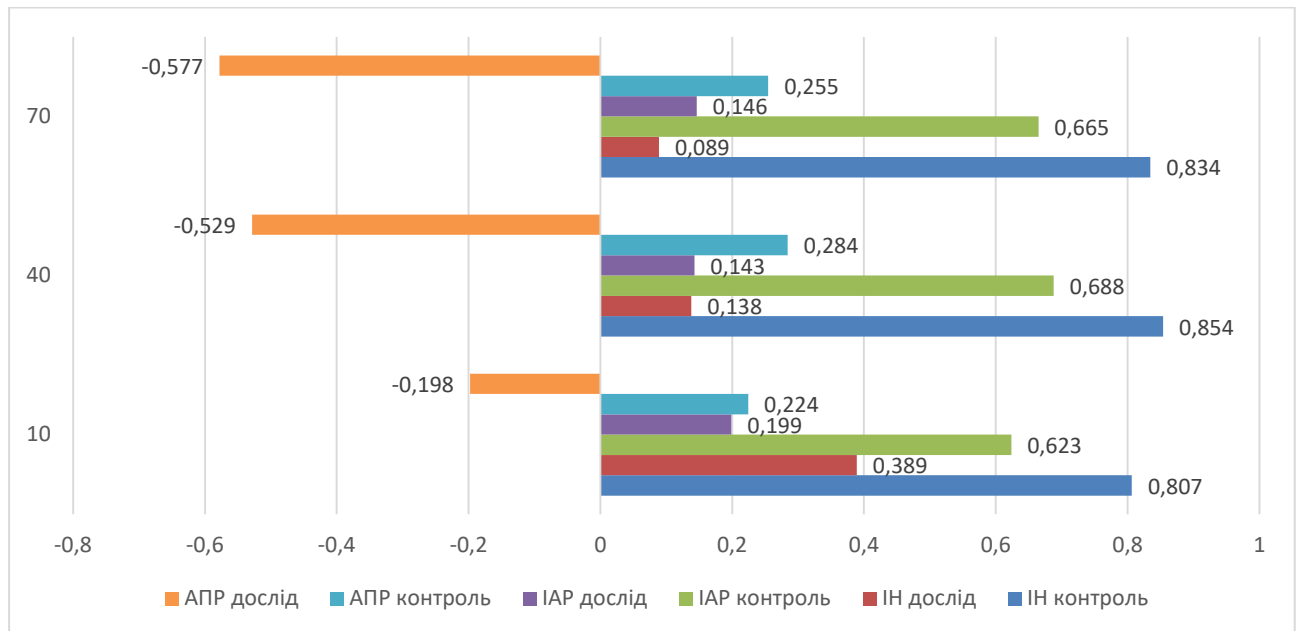


Рис. 3.16. Кореляційна залежність бактерицидної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

Порівняння даних між трьома групами тварин – нормотоніками, ваготоніками та симпатотоніками – дало змогу встановити чіткі відмінності у динаміці бактерицидної активності сироватки крові за впливу наноаквохелатів германію та заліза.

У всіх типів вегетативної регуляції застосування наноаквохелатів германію та заліза сприяло підвищенню бактерицидної активності сироватки крові порівняно з тваринами контрольних груп (рис. 3.17). Однак ступінь даного

підвищення залежав від домінування певного відділу автономної нервової системи. Встановлено, що симпатотонічний тип регуляції забезпечував найвищу бактерицидну активність сироватки крові, що, ймовірно, пов'язано з підвищеним тонусом симпатичної нервової системи, активацією метаболізму, посиленням мікроциркуляції та мобілізацією енергетичних ресурсів. Свиноматки-ваготоніки, навпаки, демонстрували помірний, але поступове підвищення БАСК, що вказує про повільнішу, проте тривалішу активацію гуморальних механізмів неспецифічного захисту. Нормотоніки займали проміжну позицію, характеризуючись гармонійним балансом між стабільністю і реактивністю, що відображає їх фізіологічно оптимальний тип нервової регуляції.

Одержані результати підтверджують, що вегетативна регуляція відіграє важливу роль у формуванні імунної реактивності свиноматок, а застосування наноаквохелатів германію та заліза може бути дієвим інструментом оптимізації природної резистентності залежно від типу автономного тонусу.

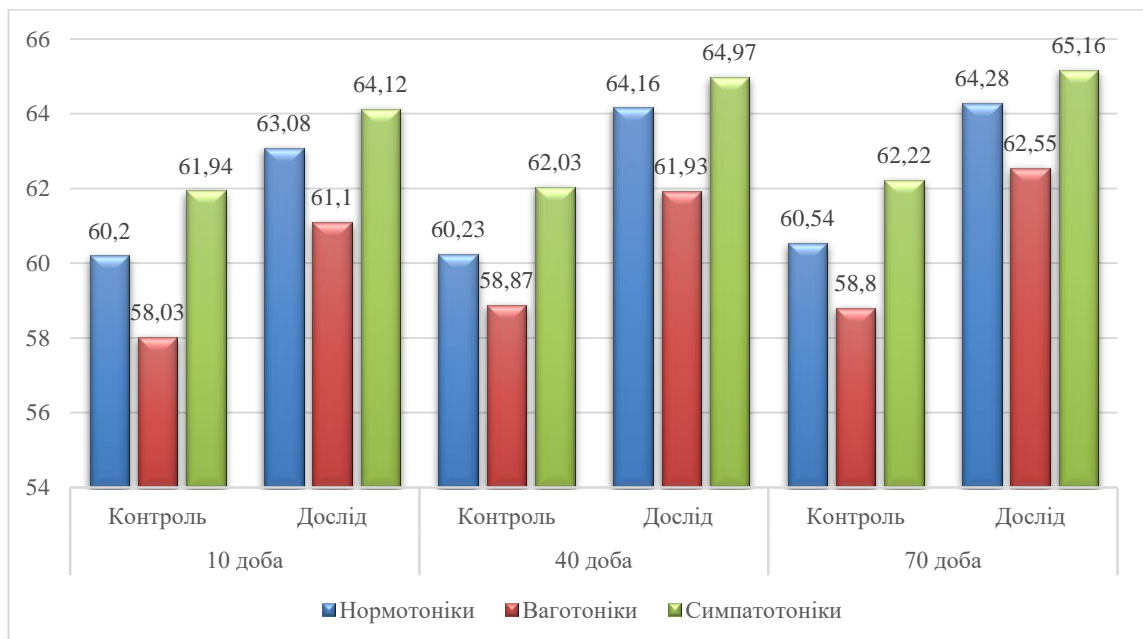


Рис. 3.17. Бактерицидна активність сироватки крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, % ($M \pm m$, $n=5$)

У таблиці 3.8 наведено показники лізоцимної активності сироватки крові свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди дослідження. Встановлено, що у свиноматок контрольної

групи лізоцимна активність сироватки крові протягом усього періоду дослідження залишалася відносно стабільною, що вказує про сталий рівень факторів гуморальної ланки неспецифічної резистентності організму свиноматок. Значення стандартного відхилення у контрольних групах не перевищували 1,45, що вказує на незначну варіабельність показника, який досліджувався.

Натомість у дослідних групах свиноматок, яким застосовували наноаквахелати германію та заліза, встановлено тенденцію до підвищення лізоцимної активності сироватки крові. Уже на 40-ту добу досліду середнє значення показника зросло на 2,81% ($P < 0,05$), а на 70-ту добу – на 3,02% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Зазначені зміни вказують про активацію неспецифічних захисних механізмів під впливом наносполук германію та заліза.

Таблиця 3.8

Лізоцимна активність сироватки крові свиноматок-нормотоніків за дії наноаквахелатів германію та заліза, %

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,63 | 47,51 | 1,40 | 0,48 | 45,87 | 49,52 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,98 | 48,19 | 2,1995 | -0,54 | 45,57 | 50,11 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,65 | 47,71 | 1,4530 | 0,66 | 46,03 | 49,87 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,86 | 50,52 | 1,9256 | 0,41 | 48,22 | 53,19 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,57 | 47,88 | 1,2761 | 0,00 | 46,21 | 49,56 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,90 | 50,90 | 2,0105 | -0,48 | 48,22 | 53,11 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз показників асиметричності вказує про відсутність суттєвого зміщення розподілу даних, що підтверджує однорідність вибірок та достовірність середніх значень. Діапазон мінімальних і максимальних значень у дослідних групах свиноматок був ширшим, ніж у контролі, що може вказувати

на індивідуальні особливості реакції організму свиноматок на введення наноаквахелатів германію та заліза.

Отримані результати загалом підтверджують імуномодулюючий вплив наноаквахелатів германію та заліза, що проявляється підвищенням лізоцимної активності сироватки крові та, відповідно, посиленням неспецифічної резистентності організму свиноматок-нормотоніків.

Аналіз кореляційної залежності між лізоцимною активністю сироватки крові та показниками автономної нервової системи у свиноматок-нормотоніків продемонстрував наявність стабільних і дуже сильних прямих взаємозв'язків як у контрольній, так і в дослідній групах протягом усього періоду дослідження (рис. 3.18).

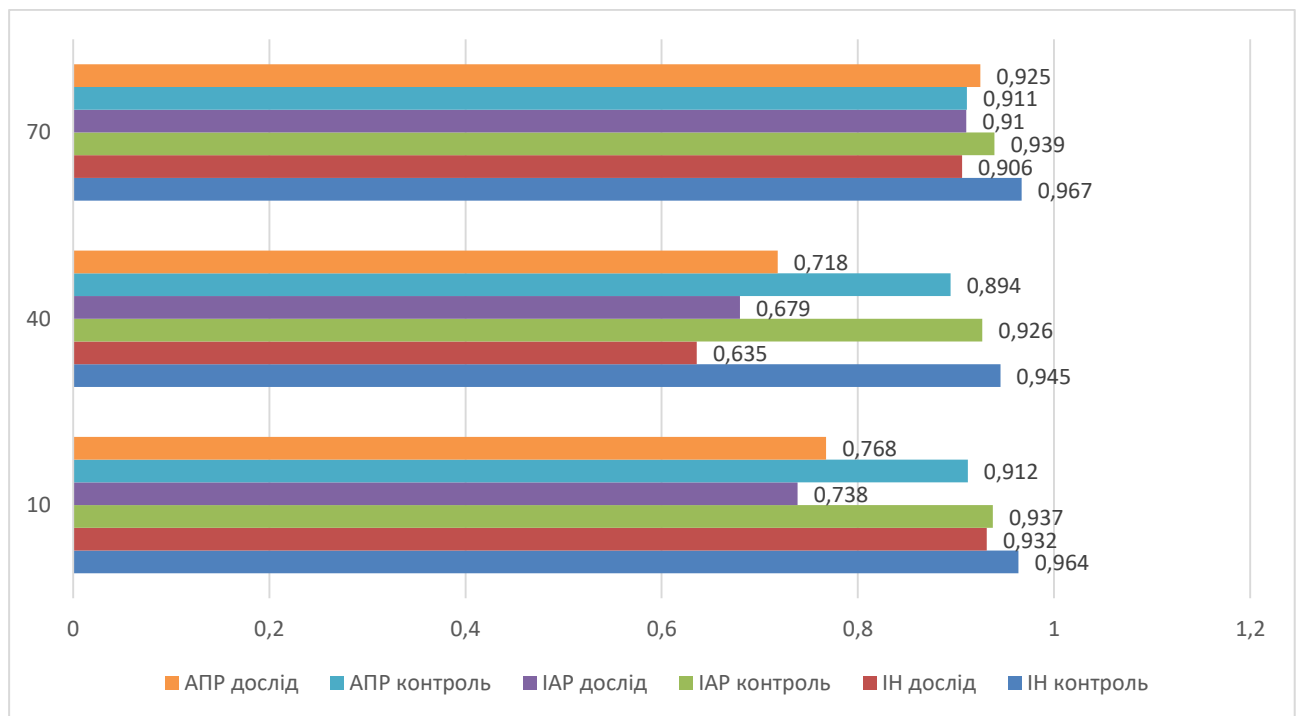


Рис. 3.18. Кореляційна залежність лізоцимної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

Так, у свиноматок-нормотоніків контрольної групи встановлено дуже високий позитивний зв'язок між індексом напруги (ІН) та лізоцимною активністю сироватки крові ($r=0,94-0,97$), а також між індексом автономної рівноваги (ІАР) і ЛАСК ($r=0,93-0,94$). Аналогічно, автономний показник ритму (АПР) показував сильну позитивну кореляцію з ЛАСК ($r=0,89-0,91$). Отримані

дані вказують про тісну функціональну залежність гуморальної неспецифічної резистентності від рівня автономної регуляції у нормотоніків.

У дослідній групі свиноматок-нормотоніків також встановлено сильні позитивні кореляційні зв'язки між ЛАСК та показниками автономної нервової системи. Хоча на окремих етапах спостерігалось певне зниження сили кореляції між ІН та ЛАСК, а також між ІАР та ЛАСК, у подальшій динаміці ці зв'язки знову набували дуже високих значень ($r > 0,90$). Кореляція між АПР та ЛАСК у свиноматок дослідної групи залишалася сильною протягом усього періоду дослідження ($r=0,72-0,92$).

У таблиці 3.9 наведено показники лізоцимної активності сироватки крові свиноматок-ваготоніків за дії наноаквахелатів германію та заліза у різні періоди дослідження. У свиноматок контрольної групи лізоцимна активність сироватки крові протягом усього періоду дослідження залишалася на відносно стабільному рівні, що є характерним для свиноматок із ваготонічним типом вегетативної регуляції. Низькі значення стандартного відхилення вказують про незначну варіабельність показника та однорідність вибірок.

У дослідній групі свиноматок-ваготоніків, яким згодовували наноаквахелати германію та заліза, відмічено чітку тенденцію до підвищення лізоцимної активності сироватки крові на всіх етапах дослідження, а саме на 10 добу – на 2,84% ($P<0,05$), на 40 добу – на 2,9% ($P<0,01$) та на 70 добу – на 3,0% ($P<0,01$) порівняно з контрольною групою. Дані результати вказують на стабільний стимулюючий ефект наносполук германію та заліза.

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує про незначне зміщення розподілу вліво, яке є більш виражене у дослідних групах, однак без істотного порушення нормальності розподілу. Межі мінімальних і максимальних значень у дослідних групах свиноматок були вищими за контроль, що підтверджує підвищення лізоцимної активності сироватки крові у відповідь на введення тваринам наноаквахелатів германію та заліза.

**Лізоцимна активність сироватки крові свиноматок-ваготоніків за дії
наноаквахелатів германію та заліза, %**

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,62 | 45,43 | 1,38 | -0,18 | 43,57 | 47,12 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,65 | 48,27 | 1,46 | -0,36 | 46,23 | 50,04 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,57 | 45,68 | 1,28 | -0,33 | 43,87 | 47,32 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,59 | 48,58 | 1,33 | -0,71 | 46,57 | 50,15 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,58 | 45,80 | 1,29 | -0,38 | 43,95 | 47,44 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,58 | 48,80 | 1,29 | -1,08 | 46,74 | 50,23 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Отже, отримані результати вказують, що застосування наноаквахелатів германію та заліза у свиноматок-ваготоніків сприяє підвищенню лізоцимної активності сироватки крові та, відповідно, активації механізмів неспецифічної гуморальної резистентності організму.

Аналіз кореляційної залежності між лізоцимною активністю сироватки крові та показниками автономної нервової системи у ваготоніків наведений на рисунку 3.19. Аналіз показав наявність стабільних позитивних взаємозв'язків середньої сили як у контрольній, так і в дослідній групах протягом усього періоду дослідження.

У свиноматок контрольної групи встановлено помірний позитивний зв'язок між індексом напруги (ІН) та ЛАСК ($r=0,45-0,59$), а також між індексом автономної рівноваги (ІАР) і ЛАСК ($r=0,58-0,69$). Найбільш виражена кореляція простежувалася між автономним показником ритму (АПР) та ЛАСК ($r = 0,66-0,71$).

У свиноматок-ваготоніків дослідної групи характер кореляцій зберігався позитивним, однак сила взаємозв'язків була дещо нижчою порівняно з контрольною групою. Зв'язок між ІН та ЛАСК залишався помірним ($r=0,59-$

0,60), між ІАР та ЛАСК – слабким або помірним ($r=0,47-0,52$), а між АПР та ЛАСК – слабким ($r=0,36-0,42$). У динаміці дослідження відзначалася тенденція до незначного послаблення кореляційних взаємозв'язків.

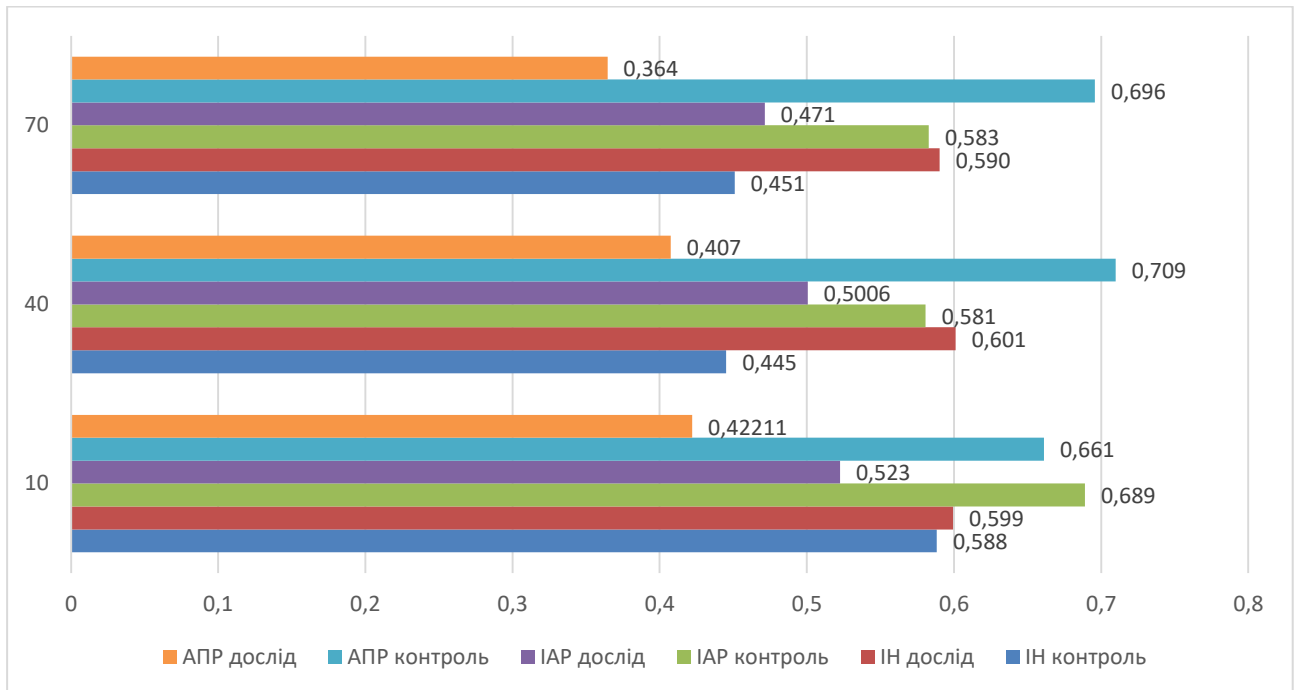


Рис. 3.19. Кореляційна залежність лізоцимної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У таблиці 3.10 представлено показники лізоцимної активності сироватки крові свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквахелатів германію та заліза у різні періоди дослідження. Встановлено, що у свиноматок контрольної групи з симпатотонічним типом вегетативної регуляції лізоцимна активність сироватки крові характеризувалася вищими значеннями порівняно з нормо- та ваготоніками. Невисокі показники стандартного відхилення вказують про відносну однорідність вибірок та стабільність досліджуваного імунологічного показника.

У дослідної групи тварин за дії наноаквахелатів германію та заліза встановлено виражену тенденцію до підвищення лізоцимної активності сироватки крові у всі періоди дослідження. Так, уже на 10-у добу середнє значення показника зросло на 2,11%, а на 40 добу – на 3,03% ($P<0,05$) порівняно з показниками контрольної групи. Максимальне підвищення

лізоцимної активності сироватки крові спостерігали на 70-у добу, де відповідно даний показник зріс на 3,79% ($P < 0,01$) порівняно з контролем. Дані результати вказують на кумулятивний характер імуномодулюючої дії наносполук германію та заліза.

Таблиця 3.10

**Лізоцимна активність сироватки крові свиноматок-симпатотоніків за дії
наноаквахелатів германію та заліза, %**

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,48 | 50,19 | 1,07 | 0,12 | 48,95 | 51,57 |
| Дослід 10 доба | 5 | 1,08 | 52,30 | 2,41 | 0,43 | 49,65 | 55,38 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,61 | 50,46 | 1,35 | 0,03 | 48,79 | 52,12 |
| Дослід 40 доба | 5 | 1,05 | 53,49 | 2,34 | -0,45 | 50,22 | 55,98 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,49 | 50,63 | 1,09 | 0,34 | 49,42 | 51,98 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,98 | 54,42 | 2,20 | -0,06 | 51,67 | 57,13 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує про незначні коливання форми розподілу показників у контрольній і дослідній груп без істотного відхилення від нормального розподілу. Діапазон мінімальних і максимальних значень у дослідній групі свиноматок був ширшим, ніж у контрольній групі, що може вказувати про індивідуальні особливості реакції свиноматок-симпатотоніків на застосування наноаквахелатів германію та заліза.

Отже, отримані результати вказують, що застосування наноаквахелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків зумовлює достовірне підвищення лізоцимної активності сироватки крові ($P < 0,05-0,01$), що відображає активацію механізмів неспецифічної гуморальної резистентності та підвищення імунобіологічної реактивності організму.

Аналіз кореляційної залежності між ЛАСК та показниками автономної нервової системи у свиноматок-симпатикотоніків показав різноспрямований

характер взаємозв'язків у контрольній та дослідній групах і зміну їх сили в динаміці експерименту (рис. 3.20).

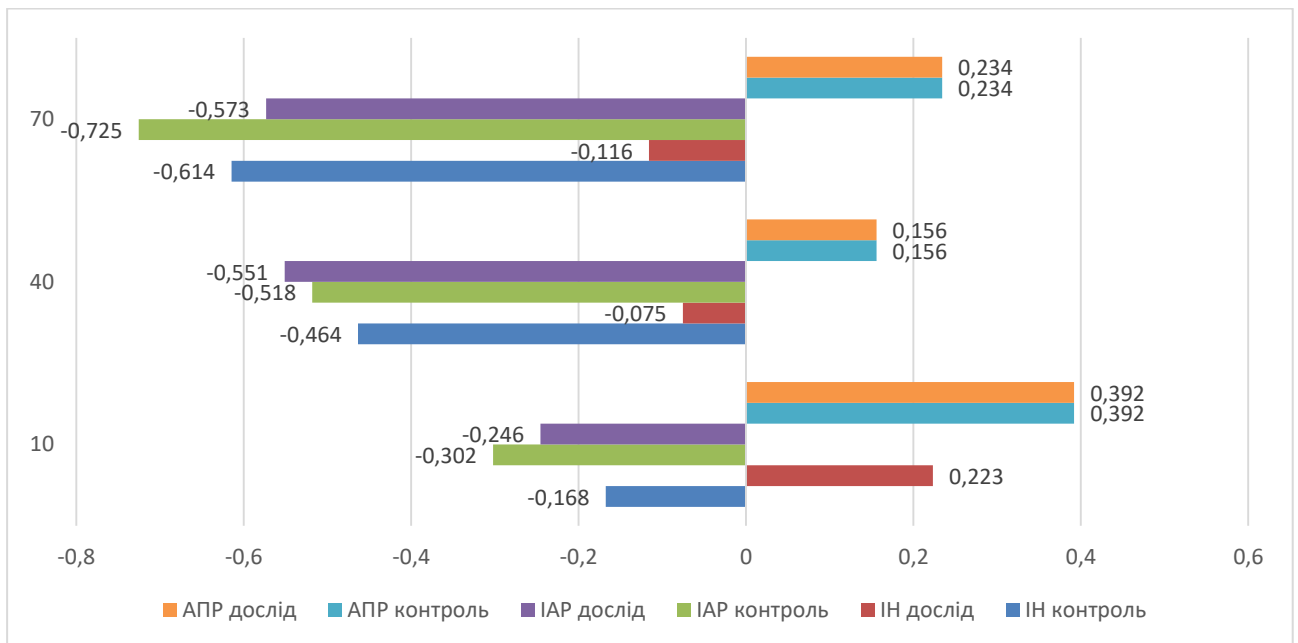


Рис. 3.20. Кореляційна залежність лізоцимної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

У свиноматок-симпатотоніків контрольної групи встановлено переважно обернену залежність між ЛАСК та індексом напруги, а також індексом автономної рівноваги. Сила кореляцій зростала в динаміці спостереження: від слабких або помірних негативних значень на початку дослідження до виражених обернених зв'язків наприкінці дослідження ($r=(-0,61)$ для ІН та $r=(-0,73)$ для ІАР). Водночас кореляція між автономним показником ритму і ЛАСК мала слабкий позитивний характер ($r=0,16-0,39$).

У дослідній групі свиноматок-симпатотоніків зв'язок між ІН та ЛАСК був слабким і нестабільним. Між ІАР та ЛАСК встановлено стабільний негативний зв'язок помірної сили ($r=(-0,57)$), що вказує на збереження функціональної залежності гуморальної ланки імунітету від параметрів автономної рівноваги. Кореляція між АПР та ЛАСК залишалася слабкою позитивною протягом усього періоду дослідження.

Отримані результати вказують, що застосування наноаквахелатів германію та заліза у свиноматок незалежно від типу вегетативного тонусу (нормотонічного, ваготонічного та симпатотонічного) супроводжується підвищенням лізоцимної активності сироватки крові, що вказує на активацію механізмів неспецифічної гуморальної резистентності їх організму. При цьому у контрольних групах усіх типів вегетативної регуляції показники лізоцимної активності залишалися відносно стабільними протягом усього періоду дослідження.

Встановлено, що вихідний рівень лізоцимної активності був найнижчим у свиноматок-ваготоніків, проміжним – у нормотоніків і найвищим – у симпатотоніків, що відображає особливості нейрогуморальної регуляції імунної відповіді. Водночас під впливом наноаквахелатів у всіх дослідних групах відмічено тенденцію до зростання показника з посиленням ефекту у динаміці досліду, найбільш виражену відповідно на 40-у та 70-у доби експерименту.

Отже, наноаквахелати германію та заліза проявляють імуномодулюючу дію, ефективно підвищуючи лізоцимну активність сироватки крові незалежно від типу вегетативного тонусу, що обґрунтовує доцільність їх застосування як засобів підвищення неспецифічної резистентності організму свиноматок.

Застосування свиноматкам дослідних груп наноаквахелатів германію та заліза сприяло підвищенню лізоцимної активності сироватки крові протягом усього періоду досліджень. Однак варто зазначити, що вірогідне підвищення лізоцимної активності сироватки крові на 10 добу досліду встановлено лише у свиноматок-ваготоніків дослідної групи, де відповідно даний показник зріс до $48,27 \pm 0,65\%$ ($P < 0,05$). На 40 добу досліду встановлено вірогідне підвищення лізоцимної активності сироватки крові у всіх дослідних групах, а саме: у нормотоніків – на $2,81\%$ ($P < 0,05$), у симпатотоніків – на $3,03\%$ ($P < 0,05$), у ваготоніків – на $2,9\%$ ($P < 0,01$) відповідно. На 70 добу досліду лізоцимна активність сироватки крові свиноматок усіх дослідних груп залишалася вірогідно вищою ($P < 0,01$) порівняно з показниками контрольних груп (рис. 3.21).

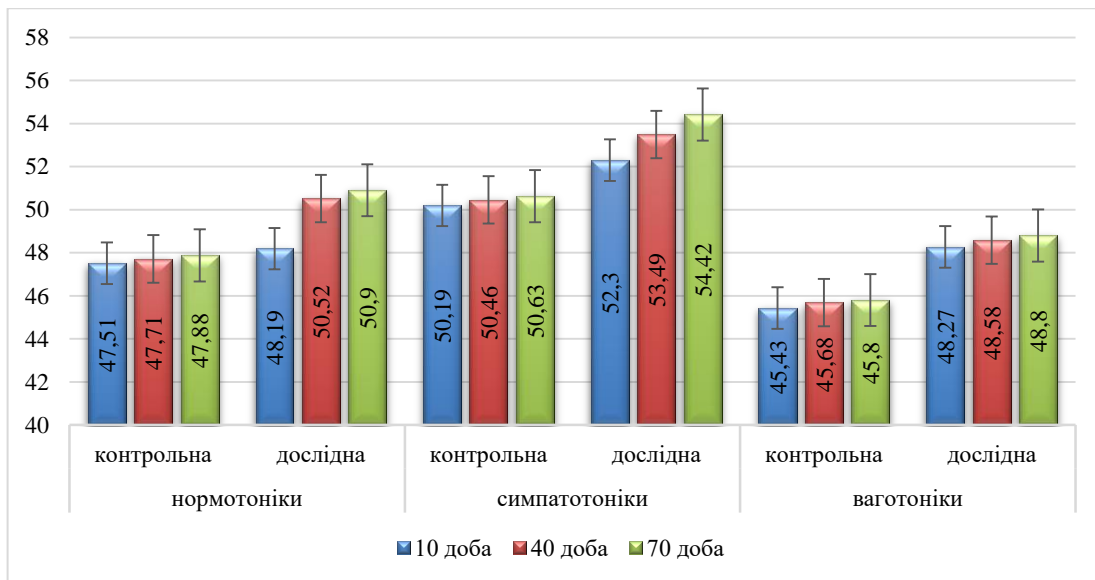


Рис. 3.21. Лізоцимна активність сироватки крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, % ($M \pm m$, $n=5$)

Таким чином, наноаквохелати германію та заліза сприяли посиленню природної резистентності гуморального типу свиней дослідних груп.

У таблиці 3.11 наведено показники комплементарної активності сироватки крові свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза на 10-у, 40-у та 70-у доби дослідження. У тварин контрольної групи комплементарна активність сироватки крові протягом усього дослідного періоду залишалася стабільною. Мінімальні та максимальні значення показника у контрольної групи свиноматок співпадали, що вказує про відсутність індивідуальних коливань та високу однорідність вибірок. Нульові або мінімальні значення стандартного відхилення підтверджують сталість функціонального стану системи комплементу за відсутності впливу досліджуваних чинників.

У дослідної групи свиноматок, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, також не виявлено суттєвих змін середніх значень комплементарної активності. Водночас у дослідних тварин встановлено незначне розширення діапазону варіації показника за рахунок збільшення максимальних значень, що може вказувати про індивідуальні реакції організму свиноматок на введення наносполук германію та заліза.

Комплементарна активність сироватки крові свиноматок-нормотоніків за дії наноаквохелатів германію та заліза, ум.од.

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|---------|------|--------|-------|------|------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | -1,03 | 0,04 | 0,04 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,00086 | 0,04 | 0,0019 | -0,59 | 0,04 | 0,05 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,00086 | 0,04 | 0,0019 | -0,59 | 0,04 | 0,04 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,00105 | 0,04 | 0,0023 | 1,74 | 0,04 | 0,05 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,00108 | 0,04 | 0,0024 | 0,60 | 0,04 | 0,04 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,00081 | 0,04 | 0,0018 | 0,27 | 0,04 | 0,05 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз коефіцієнта асиметричності показав коливання значень як у бік негативної, так і позитивної асиметрії, однак без чітко вираженої закономірності та без суттєвого впливу на середні показники. Низькі значення стандартної помилки та стандартного відхилення вказують на відсутність статистично значущих змін комплементарної активності під впливом наноаквохелатів.

Отже, отримані результати вказують, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків не призводить до істотних змін комплементарної активності сироватки крові, що вказує на збереження фізіологічної рівноваги системи комплементу та відсутність її надмірної активації за умов досліду.

Аналіз кореляційної залежності між комплементарною активністю сироватки крові та показниками автономної нервової системи у нормотоніків наведений на рисунку 3.22.

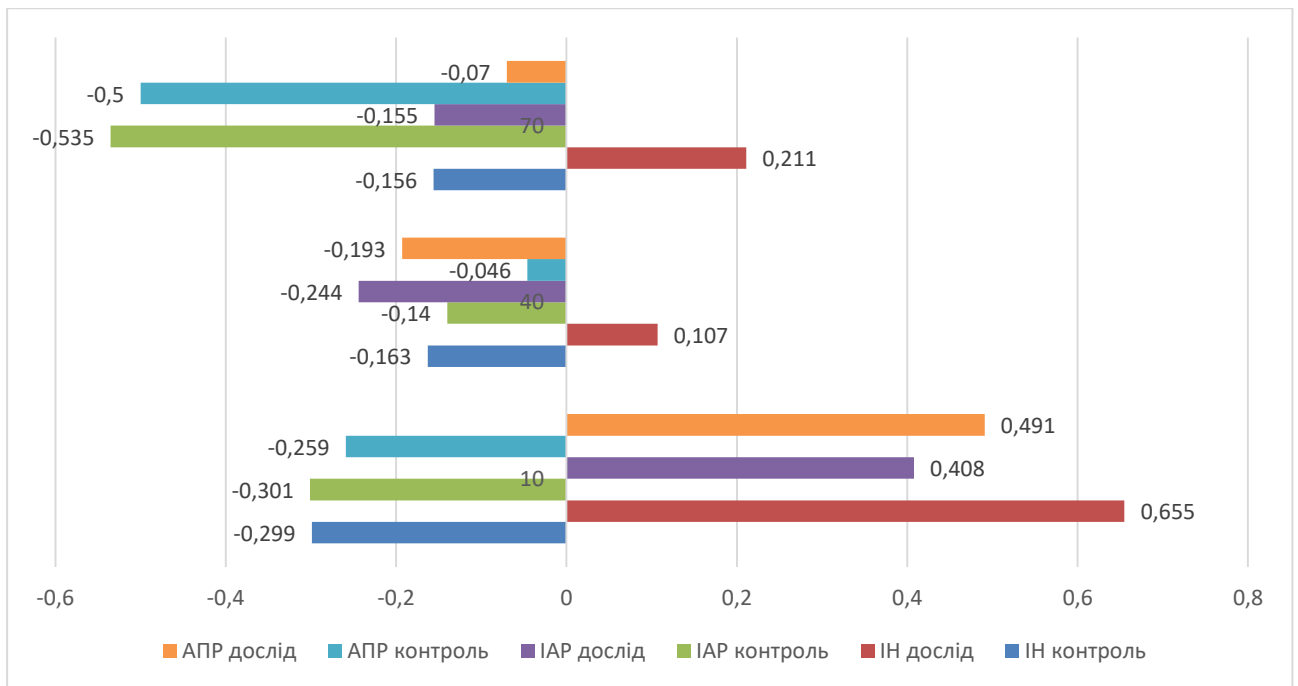


Рис. 3.22. Кореляційна залежність комплементарної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

У свиноматок-нормотоніків контрольної групи встановлено переважно слабкі обернені кореляції між КАСК та індексом напруги ($r=(-0,16)\dots(-0,30)$), а також індексом автономної рівноваги ($r=(-0,14)\dots(-0,30)$). Взаємозв'язок з автономним показником ритму та КАСК також мав слабкий негативний зв'язок. Наприкінці спостереження відзначено посилення оберненої залежності між КАСК та ІАР ($r = (-0,54)$), а також між КАСК та АПР ($r = (-0,50)$), що вказує про підвищення чутливості комплемент-залежних механізмів до змін автономної регуляції.

У свиноматок-нормотоніків дослідної групи на 10 добу дослідження встановлено помірний позитивний зв'язок між індексом напруги та комплементарною активністю сироватки крові ($r = 0,65$), а також слабо-помірні позитивні кореляції з ІАР і АПР. У подальшій динаміці сила даних взаємозв'язків зменшувалася, а окремі кореляції змінювали напрям на слабкий негативний або набували мінімального характеру.

У таблиці 3.12 наведено показники комплементарної активності сироватки крові свиноматок-ваготоніків за умов застосування наноаквохелатів германію

та заліза у різні періоди дослідження. У свиноматок-ваготоніків контрольної групи комплементарна активність сироватки крові протягом усього періоду досліду залишалася стабільною. Мінімальні та максимальні значення показника у контрольної групи тварин співпадали, що вказує про відсутність індивідуальних коливань і про стабільний функціональний стан системи комплементу за умов фізіологічної норми. Низькі значення стандартного відхилення підтверджують однорідність досліджуваних вибірок.

У свиноматок дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, середні значення комплементарної активності не зазнавали істотних змін, проте встановлено тенденцію до вірогідного підвищення показника на 40-у ($P < 0,05$) та 70-у добу ($P < 0,05$) досліду. Так, середнє значення комплементарної активності сироватки крові свиноматок дослідної групи досягало 0,04 ум. од. ($P < 0,05$), що супроводжувалося розширенням діапазону варіації за рахунок підвищення максимальних значень.

Таблиця 3.12

Комплементарна активність сироватки крові свиноматок-ваготоніків за дії наноаквохелатів германію та заліза, ум.од.

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|---------|------|--------|-------|------|------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | -0,24 | 0,03 | 0,03 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,00108 | 0,03 | 0,0024 | 0,60 | 0,03 | 0,04 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,00089 | 0,03 | 0,0020 | 0,94 | 0,03 | 0,03 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,001 | 0,04 | 0,0022 | 0,00 | 0,03 | 0,04 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,00128 | 0,03 | 0,0029 | -0,31 | 0,03 | 0,03 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,00146 | 0,04 | 0,0033 | 0,42 | 0,03 | 0,04 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує на незначні коливання розподілу показників у межах фізіологічних величин, без чітко вираженої тенденції до зміщення. Низькі значення стандартної помилки та стандартного відхилення

вказують про відсутність статистично значущих змін у системі комплементу під впливом досліджуваних наносполук германію та заліза.

Отже, отримані результати вказують, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-ваготоніків дослідної групи не призводить до суттєвих змін комплементарної активності сироватки крові, що вказує на збереження стабільності функціонального стану системи комплементу та відсутність її надмірної активації.

Аналіз кореляційної залежності між комплементарною активністю сироватки крові та показниками автономної нервової системи у свиноматок-ваготоніків показав суттєві відмінності між контрольною та дослідною групами та виражену зміну сили взаємозв'язків у динаміці досліді.

У контрольній групі встановлено переважно слабкі або відсутні кореляції між КАСК та ІН, а також ІАР. Лише на 70-ту добу досліді встановлена помірна позитивна залежність між ІН та КАСК ($r=0,17$). Взаємозв'язок із автономним показником ритму мав слабкий обернений характер. Загалом, у контрольній групі свиноматок-ваготоніків функціональна залежність комплемент-залежних механізмів від параметрів автономної регуляції була мінімальною та нестійкою (рис. 3.23).

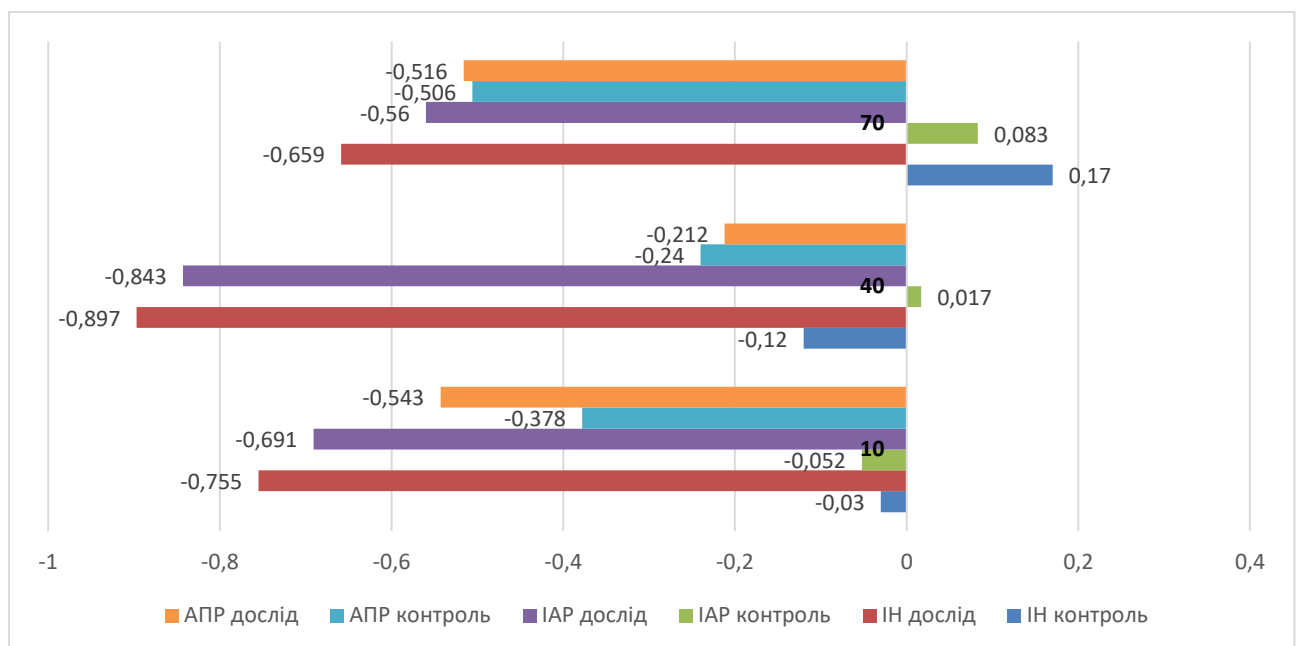


Рис. 3.23. Кореляційна залежність комплементарної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У дослідній групі свиноматок-ваготоніків, навпаки, встановлено виражені обернені кореляційні зв'язки між КАСК та всіма показниками автономної нервової системи. Найбільш сильні негативні корелятивні зв'язки встановлено між ІН та КАСК ($r = (-0,90)$), а також між ІАР та КАСК ($r = (-0,84)$). Взаємозв'язок із АПР також мав помірний або виражений негативний зв'язок ($r = (-0,52)$). У динаміці дослідження зберігалася тенденція до стійкої оберненої залежності, хоча наприкінці досліду її сила дещо зменшувалася.

У таблиці 3.13 наведено показники комплементарної активності сироватки крові свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди експерименту. У свиноматок-симпатотоніків контрольної групи комплементарна активність сироватки крові протягом усього періоду досліду залишалася стабільною. Незначні коливання мінімальних та максимальних значень не супроводжувалися змінами середніх показників, що вказує про сталість функціонального стану системи комплементу у тварин із симпатотонічним типом вегетативної регуляції.

Таблиця 3.13

Комплементарна активність сироватки крові свиноматок-симпатотоніків за дії наноаквохелатів германію та заліза, ум.од.

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|---------|------|--------|-------|------|------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | -1,03 | 0,04 | 0,05 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,0007 | 0,05 | 0,0016 | 0,00 | 0,05 | 0,05 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,0015 | 0,05 | 0,0034 | -0,58 | 0,04 | 0,05 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,0011 | 0,05 | 0,0025 | -1,67 | 0,05 | 0,05 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,0019 | 0,05 | 0,0043 | 0,12 | 0,04 | 0,05 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,00093 | 0,05 | 0,0021 | -1,92 | 0,05 | 0,05 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У свиноматок дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, середні значення комплементарної активності також залишалися на рівні 0,05 ум. од. на всіх етапах дослідження. Діапазон варіації показника був обмеженим, а мінімальні та максимальні значення у більшості випадків співпадали, що вказує на відсутність суттєвого впливу досліджуваних наносполук на активацію або пригнічення системи комплементу.

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує на наявність незначної негативної асиметрії розподілу показників у окремі періоди досліду, однак без чіткої динамічної закономірності та без істотного відхилення від фізіологічної норми. Низькі значення стандартної помилки та стандартного відхилення підтверджують однорідність вибірок і стабільність досліджуваного показника.

Отже, отримані результати вказують, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків не спричиняє істотних змін комплементарної активності сироватки крові, що вказує на збереження фізіологічної рівноваги системи комплементу та відсутність її надмірної активації за умов експерименту.

Щодо визначення кореляційної залежності між комплементарною активністю сироватки крові та показниками автономної нервової системи у симпатикотоніків встановлено, що у свиноматок-симпатотоніків контрольної групи на 10 добу досліду встановлено помірний або виражений обернений зв'язок між КАСК та ІН ($r = (-0,70)$), а також ІАР та КАСК ($r = (-0,64)$). У подальшому динамка сили обернених кореляцій зменшувалася, а наприкінці досліду формувався помірний позитивний зв'язок між показниками автономної регуляції та комплементарною активністю сироватки крові. Взаємозв'язок із автономним показником ритму на початку досліду був практично відсутній, однак наприкінці досліду – набував помірного позитивного характеру ($r = 0,62$) (рис. 3.24).

У свиноматок-симпатотоніків дослідної групи характер кореляцій мав більш варіабельний характер. На початковому етапі дослідження встановлено слабкий позитивний зв'язок між ІН, ІАР та КАСК, тоді як у подальшому формувалися виражені обернені залежності ($r = (-0,72)$ для ІН та $r = (-0,44)$ для ІАР). Наприкінці досліду, на 70 добу, знову відзначалася тенденція до позитивної кореляції між показниками автономної регуляції та комплементарною активністю сироватки крові. Взаємозв'язок із АПР демонстрував аналогічну динаміку – від мінімального або слабого негативного до помірного позитивного.

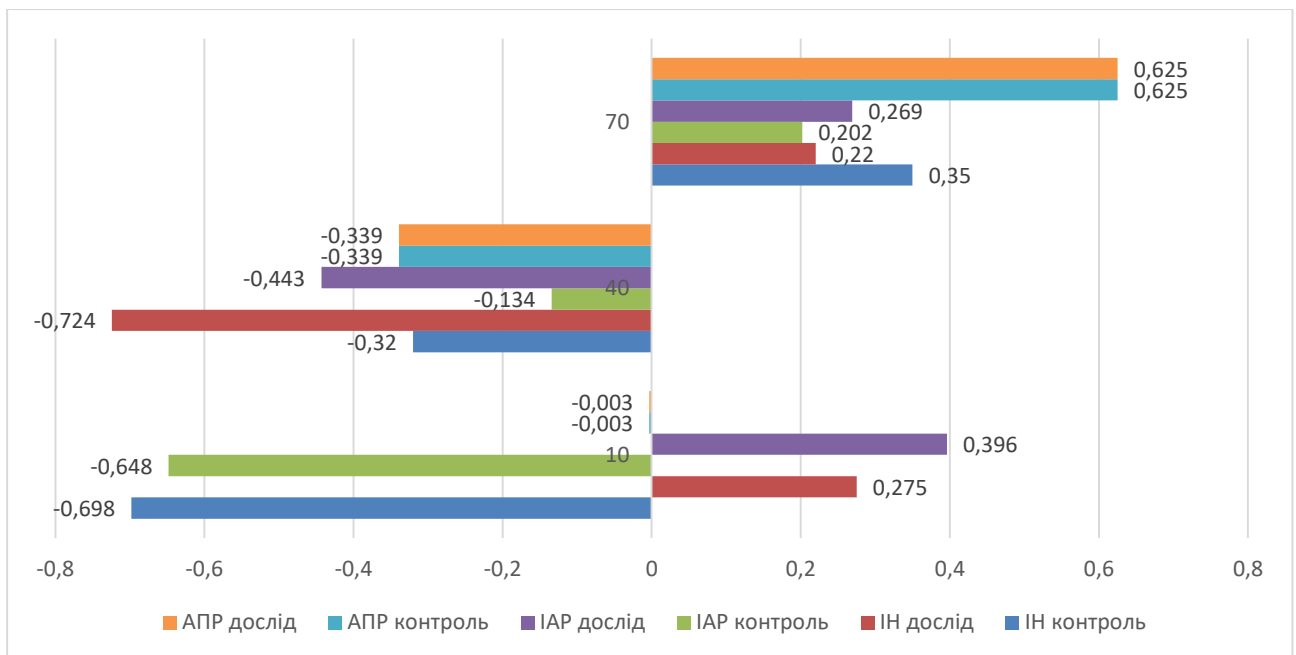


Рис. 3.24. Кореляційна залежність комплементарної активності сироватки крові із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

Система комплементу є найважливішим чинником вродженого неспецифічного імунітету тварин, відіграючи першорядну роль в розвитку стійкості організму до інфекційних агентів. При задаванні свиноматкам дослідних групи наноаквохелатів германію та заліза встановлено підвищення комплементарної активності сироватки крові. Так, на 10 добу досліду у тварин-нормотоніків дослідної групи КАСК підвищилася на 8,1% ($P < 0,05$), у тварин-симпатотоніків – на 7,3% ($P < 0,05$), у тварин-ваготоніків – на 13,1% ($P < 0,05$) порівняно з показниками тварин контрольних груп. На 40 добу досліду

встановлено незначне підвищення комплементарної активності сироватки крові свиноматок дослідних груп порівняно з попередньою добою. Однак при порівнянні з показниками тварин контрольних груп комплементарна активність сироватки крові свиноматок дослідних груп підвищилася на 8% ($P < 0,05$) у нормотоніків, на 11,1% ($P < 0,05$) у симпатотоніків та відповідно на 16,1% ($P < 0,01$) у тварин-ваготоніків. На 70 добу досліду у дослідній групі тварин-нормотоніків встановлено підвищення КАСК на 9,6% ($P < 0,05$), а у тварин-ваготоніків – на 17,5% ($P < 0,05$) порівняно з контролем (рис. 3.25).

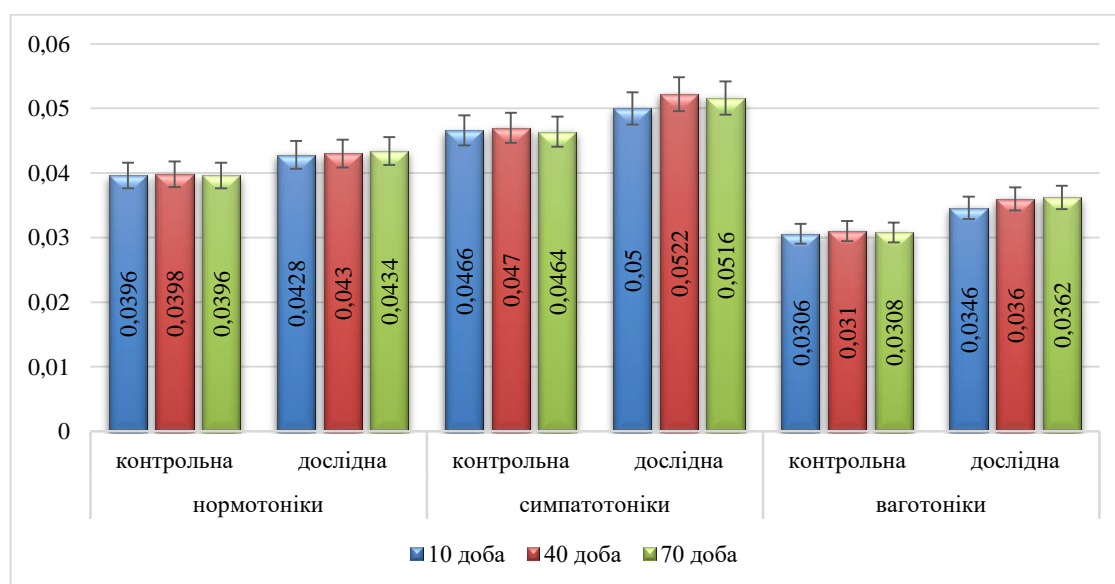


Рис. 3.25. Комплементарна активність сироватки крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, ум.од. ($M \pm m, n=5$)

Показники фагоцитарної активності крові свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди експерименту наведені у таблиці 3.14. У крові свиноматок-нормотоніків контрольної групи фагоцитарна активність протягом усього періоду досліду залишалася відносно стабільною. Невеликі значення стандартного відхилення (1,74–2,28) вказує про помірну варіабельність показника та однорідність вибірок. Незначна негативна асиметрія розподілу даних у контрольної групи тварин не впливала на середні значення та відображала фізіологічні коливання імунного показника.

У свиноматок дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до підвищення фагоцитарної

активності крові на всіх етапах досліджу. Уже на 10-у добу середнє значення показника перевищувало контрольні значення. На 40-у та 70-у доби досліджу фагоцитарна активність у тварин дослідної групи вірогідно зростала ($P < 0,05$), що вказує на поступове посилення клітинних механізмів неспецифічної резистентності за впливу наносполук германію та заліза.

Таблиця 3.14

**Фагоцитарна активність крові свиноматок-нормотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 1,02 | 44,03 | 2,28 | -0,88 | 40,57 | 46,38 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,83 | 46,12 | 1,87 | -0,78 | 43,38 | 48,11 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,78 | 45,04 | 1,74 | -0,40 | 42,51 | 47,21 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,88 | 47,88 | 1,95 | 0,08 | 45,67 | 50,23 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,78 | 44,93 | 1,74 | 0,25 | 42,68 | 47,36 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,70 | 48,37 | 1,57 | 0,53 | 46,98 | 50,24 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує про відсутність істотних порушень симетрії розподілу показників у дослідної групи свиноматок, а діапазон мінімальних і максимальних значень був зміщений у бік вищих рівнів порівняно з контрольною групою. Менші значення стандартної помилки та стандартного відхилення у дослідної групи вказує про стабільність і відтворюваність отриманих результатів.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків сприяє підвищенню фагоцитарної активності крові, що відображає активацію клітинної ланки неспецифічного імунітету та підвищення імунобіологічної реактивності організму тварин.

Аналіз кореляційної залежності між фагоцитарною активністю крові свиноматок-нормотоніків та показниками автономної нервової системи

продемонстрував наявність стабільних і виражених прямих взаємозв'язків, особливо у контрольній групі. Так, встановлено сильний позитивний зв'язок між індексом напруги та фагоцитарною активністю ($r = 0,72-0,78$). Ще більш вираженими були кореляції між індексом автономної рівноваги та фагоцитарною активністю ($r = 0,91-0,93$), а також між автономним показником ритму та фагоцитарною активністю ($r = 0,87-0,93$) (рис. 3.26).

У тварин-нормотоніків дослідної групи на 10 добу дослідження також встановлено позитивні кореляційні зв'язки між фагоцитарною активністю та всіма показниками автономної нервової системи (ІН, ІАР, АПР). Однак у подальшій динаміці встановлено поступове послаблення сили кореляцій, особливо між фагоцитарною активністю та ІН, де наприкінці дослідження зв'язок набував мінімального характеру. Кореляції з ІАР та АПР залишалися позитивними, однак їх сила зменшувалася порівняно з контрольною групою.

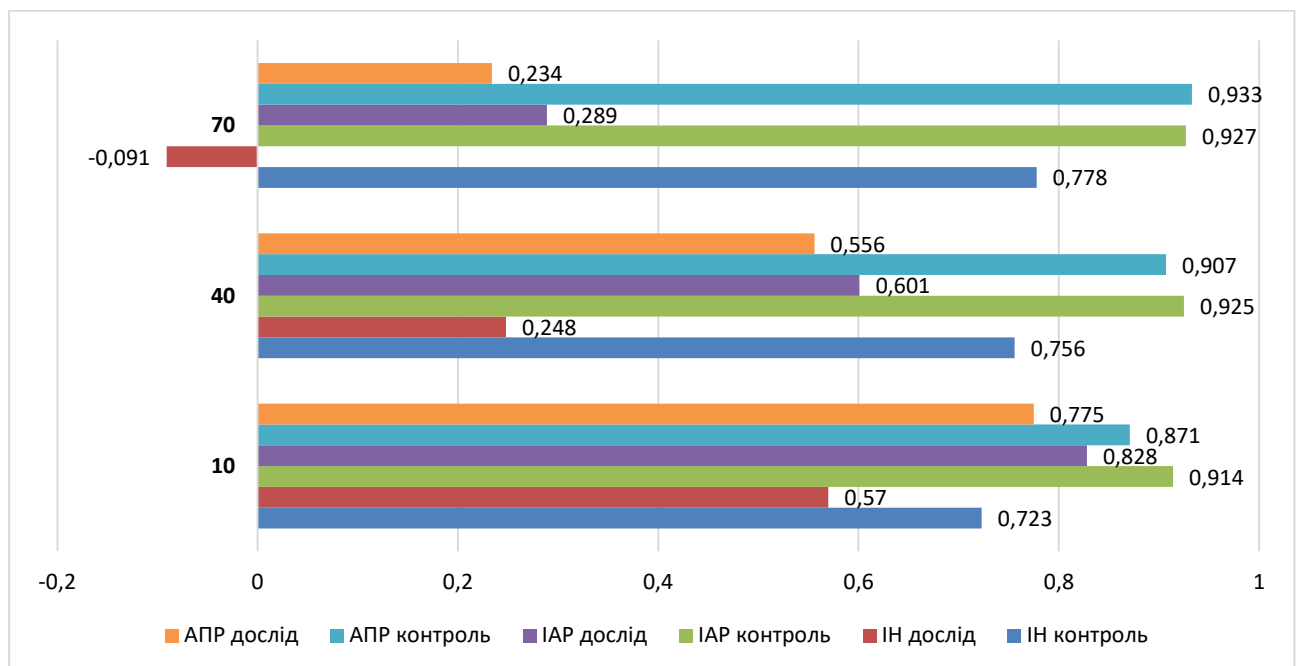


Рис. 3.26. Кореляційна залежність фагоцитарної активності крові свиноматок із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

У таблиці 3.15 наведено показники фагоцитарної активності крові свиноматок-ваготоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди дослідження. У свиноматок-ваготоніків контрольної

групи фагоцитарна активність крові протягом усього періоду дослідження характеризувалася відносною стабільністю, що є типовим для тварин із ваготонічним типом вегетативної регуляції. Невеликі значення стандартного відхилення (СВ 1,07–1,13) вказують про помірну варіабельність показника та однорідність вибірок. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру й не впливали на середні значення.

Таблиця 3.15

**Фагоцитарна активність крові свиноматок-ваготоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,51 | 40,92 | 1,13 | 0,13 | 39,57 | 42,35 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,51 | 43,29 | 1,15 | 0,27 | 41,98 | 44,87 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,48 | 41,33 | 1,08 | -0,21 | 39,88 | 42,69 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,55 | 44,09 | 1,22 | -1,32 | 42,11 | 45,22 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,48 | 41,46 | 1,06 | -0,45 | 40,09 | 42,61 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,65 | 44,42 | 1,46 | -1,22 | 42,09 | 45,87 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У свиноматок дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до підвищення фагоцитарної активності крові на всіх етапах дослідження. Так, уже на 10-у добу досліду середнє значення показника зросло на 2,37% ($P < 0,05$), а на 40-у та 70-у доби досягала відповідно на 2,76% ($P < 0,01$) та на 2,96% ($P < 0,01$), що вказує про поступове посилення клітинних механізмів неспецифічної резистентності за впливу досліджуваних наносполук.

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у дослідної групи свиноматок-ваготоніків діапазон показників був зміщений у бік вищих значень порівняно з контролем. Незважаючи на дещо більшу варіабельність у тварин

дослідної групи на 70-у добу, отримані дані залишалися в межах фізіологічних величин та характеризувалися достатньою відтворюваністю.

Отже, результати дослідження вказують, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-ваготоніків сприяє підвищенню фагоцитарної активності крові.

Аналіз кореляційної залежності між фагоцитарною активністю крові свиноматок та показниками автономної нервової системи у ваготоніків продемонстрував суттєві відмінності між контрольною та дослідною групами.

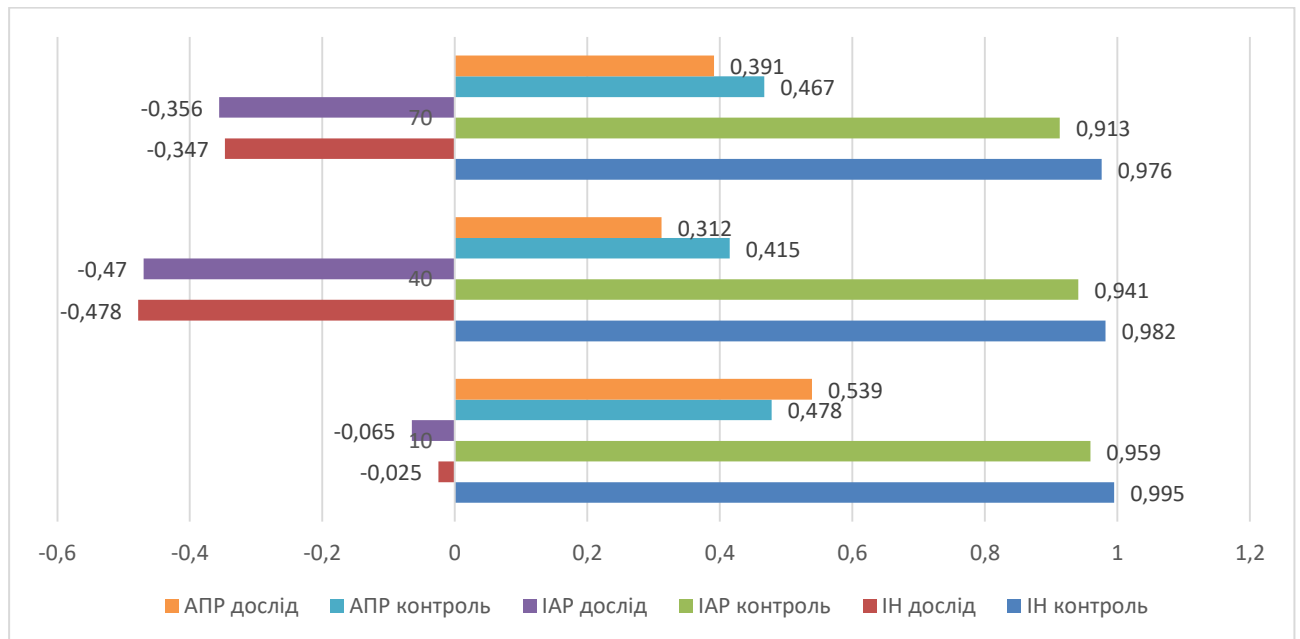


Рис. 3.27. Кореляційна залежність фагоцитарної активності крові свиноматок із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У контрольній групі встановлено надзвичайно високий позитивний зв'язок між індексом напруги та фагоцитарною активністю ($r = 0,98-0,99$), а також між індексом автономної рівноваги (ІАР) та фагоцитарною активністю ($r = 0,91-0,96$). Кореляція між автономним показником ритму (і фагоцитарною активністю мала помірний позитивний характер ($r = 0,41-0,48$).

У дослідній групі на 10 добу дослідження зв'язок між фагоцитарною активністю та ІН був практично відсутнім, однак у подальшому встановлено помірно обернену кореляції ($r = (-0,48)$). Аналогічна тенденція спостерігалася і щодо ІАР, де виявлено негативні кореляційні зв'язки ($r = (-0,47)$). Водночас

взаємозв'язок між АПР та фагоцитарною активністю залишався слабким або помірним позитивним протягом усього періоду спостереження.

У таблиці 3.16 наведено показники фагоцитарної активності крові свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди експерименту. У свиноматок-симпатотоніків контрольної групи фагоцитарна активність крові характеризувалася відносною стабільністю протягом усього періоду дослідження. Невисокі значення стандартного відхилення (1,09–1,50) вказують про помірну варіабельність показника та однорідність вибірок. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали вираженого системного характеру й відображали фізіологічні особливості клітинної ланки імунітету.

У свиноматок дослідної групи за дії наноаквохелатів германію та заліза встановлено виражене підвищення фагоцитарної активності у їх крові на всіх етапах дослідження. Уже на 10-у добу середнє значення показника зросло на 2,73% ($P < 0,01$) порівняно з контролем. Відповідно на 40-у і 70-у доби дослідження даний показник у крові свиноматок-симпатотоніків зріс на 3,61% ($P < 0,01$) і 4,3% ($P < 0,001$), що вказує на стійке посилення клітинних механізмів неспецифічної резистентності та накопичувальний характер імуномодулюючої дії досліджуваних наносполук у свиноматок дослідної групи.

Таблиця 3.16

**Фагоцитарна активність крові свиноматок-симпатотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,67 | 46,86 | 1,50 | -0,77 | 44,55 | 48,67 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,43 | 49,59 | 0,96 | 1,26 | 48,65 | 51,13 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,52 | 47,27 | 1,16 | -0,05 | 45,64 | 48,87 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,78 | 50,88 | 1,73 | -0,58 | 48,52 | 52,49 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,49 | 46,99 | 1,09 | 0,13 | 45,49 | 48,55 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,63 | 51,29 | 1,41 | -0,66 | 49,35 | 52,68 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у дослідних групах весь діапазон показників був зміщений у бік вищих значень порівняно з контролем. Водночас зниження стандартної помилки у дослідних тварин на 10-ту добу вказує про високу узгодженість реакції організму на введення наноаквохелатів германію та заліза.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків сприяє суттєвому підвищенню фагоцитарної активності крові, що відображає активацію клітинної ланки неспецифічного імунітету та зростання імунобіологічної реактивності організму.

На основі аналізу кореляційної залежності між фагоцитарною активністю крові свиноматок-симпатотоніків та показниками автономної нервової системи встановлені виражені відмінності між контрольною та дослідною групами та зміну напрямку взаємозв'язків у динаміці досліді.

У свиноматок контрольної групи встановлено стабільний сильний позитивний зв'язок між індексом напруги та фагоцитарною активністю ($r = 0,69-0,73$), що вказує про пряму залежність клітинної ланки неспецифічного імунітету від рівня симпатичного напруження. Кореляція між індексом автономної рівноваги та фагоцитарною активністю мала помірний позитивний характер ($r = 0,44-0,54$). Взаємозв'язок із автономним показником ритму (АПР) був позитивним на 10 добу, однак у подальшому його сила зменшувалася та набувала слабкого або мінімального характеру (рис. 3.28).

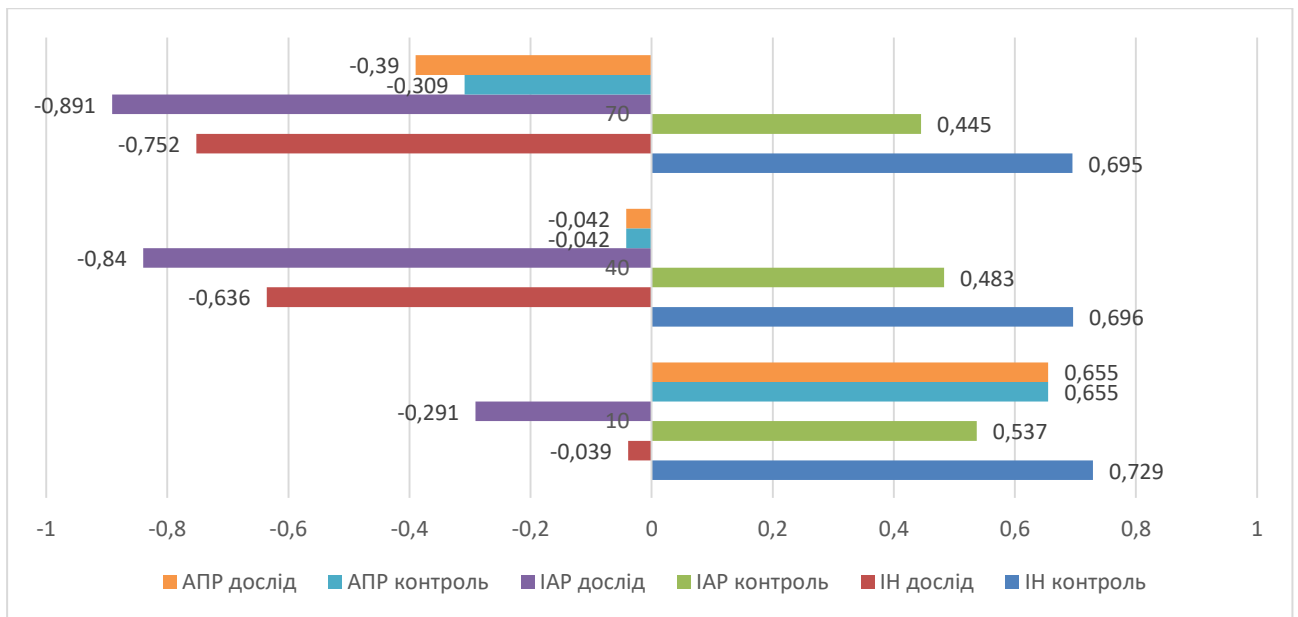


Рис. 3.28. Кореляційна залежність фагоцитарної активності крові свиноматок із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

У дослідній групі характер кореляцій суттєво відрізнявся від контрольної групи. Так, на 10 добу дослідів зв'язок між фагоцитарною активністю та ІН був мінімальним, однак у подальшому формувалися виражені обернені кореляції ($r = (-0,75)$). Аналогічна тенденція спостерігалася і щодо ІАР, де встановлено сильні негативні кореляції ($r = (-0,89)$). Взаємозв'язок між АПР та фагоцитарною активністю у дослідній групі змінювався від помірного позитивного до слабого негативного.

Фагоцитуючі клітини є однією з ключових груп клітин імунної системи. Їх основне завдання – здійснення процесу фагоцитозу, що є комплексом клітинних реакцій, спрямованих на розпізнавання, поглинання, нейтралізацію та виведення з організму сторонніх об'єктів. Цей процес відіграє важливу роль у захисті організму від патогенів та забезпеченні стабільності внутрішнього середовища.

Фагоцитарна активність крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза наведена на рисунку 3.29. Встановлено, що найнижча фагоцитарна активність була у крові свиноматок-ваготоніків контрольної групи. Дещо вищою фагоцитарна активність була у крові свиноматок-нормотоніків та

найвищою у свиноматок-симпатотоніків. Задавання наноаквохелатів германію та заліза свиноматкам дослідних груп сприяло вірогідною підвищенню фагоцитарної активності крові у всіх дослідних групах.

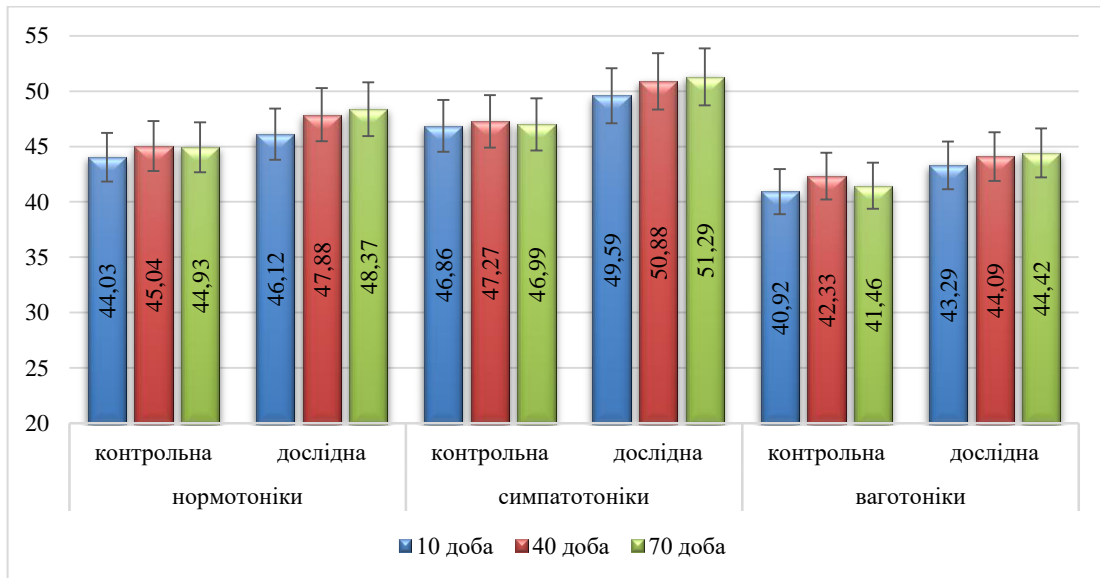


Рис. 3.29. Фагоцитарна активність крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, % ($M \pm m$, $n=5$)

Варто зазначити, що на 10 добу досліду вірогідне зростання фагоцитарної активності спостерігали у свиноматок-симпатотоніків та ваготоніків, де відповідно даний показник зріс на 2,73% ($P<0,01$) і 2,37% ($P<0,05$) порівняно з контрольною групою. На 40 добу досліду вірогідне зростання досліджуваного показника спостерігали у всіх дослідних групах, так у свиноматок-нормотоніків показники зріс на 2,84% ($P<0,05$), у свиноматок-симпатотоніків – на 3,61% ($P<0,01$), у свиноматок-ваготоніків – на 1,75% ($P<0,01$). На 70 добу досліду встановлено незначне підвищення фагоцитарної активності крові свиноматок дослідних груп порівняно з попередньою добою.

Показники фагоцитарного індексу крові свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні терміни експерименту наведені у таблиці 3.17. У свиноматок-нормотоніків контрольної групи фагоцитарний індекс крові протягом усього періоду дослідження залишався відносно стабільним, що вказує про сталу інтенсивність фагоцитозу за фізіологічних умов. Невеликі значення стандартного відхилення та помірна

асиметрія розподілу показників вказують на однорідність вибірок і відсутність різко виражених індивідуальних коливань.

Таблиця 3.17

**Фагоцитарний індекс крові свиноматок-нормотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, од.**

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|------|------|-------|------|------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,25 | 6,71 | 0,56 | 0,34 | 6,13 | 7,38 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,15 | 7,33 | 0,34 | 0,96 | 6,99 | 7,85 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,23 | 6,77 | 0,51 | 0,32 | 6,24 | 7,34 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,15 | 7,43 | 0,33 | 0,96 | 7,12 | 7,95 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,23 | 6,86 | 0,52 | 0,49 | 6,31 | 7,56 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,19 | 7,61 | 0,43 | -0,48 | 6,99 | 8,13 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У свиноматок-нормотоніків дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до підвищення фагоцитарного індексу крові на всіх етапах дослідження. Уже на 10-у добу середнє значення показника зросло на 9,2%, а на 40-у та 70-у доби – відповідно на 9,7% ($P < 0,05$) та 10,9% ($P < 0,05$), що перевищувало значення контрольної групи. Зниження стандартної помилки та стандартного відхилення у дослідних групах вказує про стабільність і відтворюваність ефекту.

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у тварин дослідної групи діапазон фагоцитарного індексу був зміщений у бік вищих значень порівняно з контрольною групою, що підтверджує посилення інтенсивності фагоцитозу за впливу досліджуваних наносполук германію та заліза. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та перебували в межах фізіологічної норми (рис. 3.30).

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків сприяє підвищенню фагоцитарного індексу крові, що відображає

активацію клітинної ланки неспецифічного імунітету та підвищення функціональної активності фагоцитів.

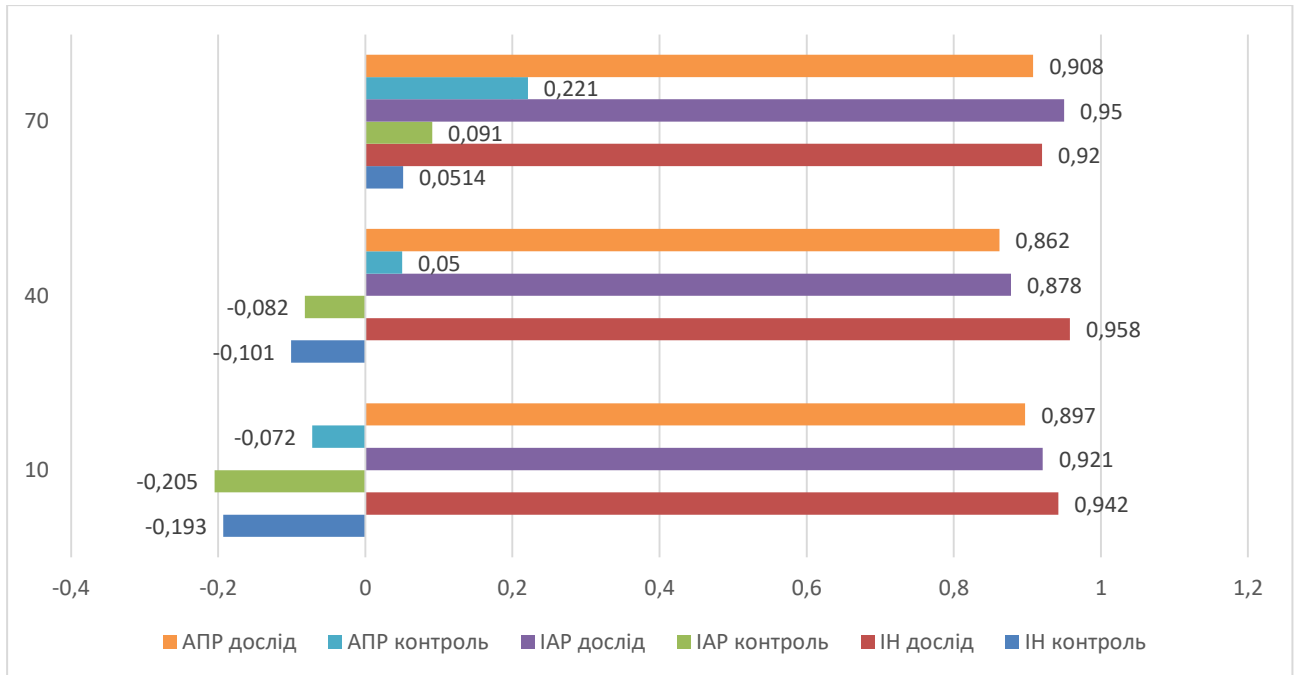


Рис. 3.30. Кореляційна залежність фагоцитарного індексу із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

Аналіз кореляційної залежності між фагоцитарним індексом та показниками автономної нервової системи у нормотоніків виявив суттєві відмінності між контрольною та дослідною групами. У контрольній групі встановлено слабкі або відсутні кореляційні зв'язки між фагоцитарним індексом та індексом напруги, індексом автономної рівноваги і автономним показником ритму. Кореляції мали мінімальний характер і не демонстрували стабільної спрямованості, що вказує про відносну автономність фагоцитарного індексу від параметрів вегетативної регуляції у нормотоніків за фізіологічних умов.

У дослідній групі, навпаки, встановлено надзвичайно високі та стабільні позитивні кореляційні зв'язки між фагоцитарним індексом і всіма показниками автономної нервової системи. Коефіцієнти кореляції між фагоцитарним індексом та ІН, ІАР і АПР знаходилися у межах $r \approx 0,86-0,96$ протягом усього періоду дослідження.

У таблиці 3.18 наведено показники фагоцитарного індексу крові свиноматок-ваготоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди експерименту. Так, у свиноматок-ваготоніків контрольної групи фагоцитарний індекс крові протягом усього періоду дослідження залишався відносно стабільним. Значення стандартного відхилення та коефіцієнта асиметричності вказують на помірну варіабельність показника без суттєвих порушень симетрії розподілу.

У свиноматок-ваготоніків дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено виражену тенденцію до підвищення фагоцитарного індексу крові у всі періоди дослідження. Уже на 10-у добу середнє значення показника зросло на 9,5%, а на 40-у та 70-у доби – відповідно на 10,4% ($P < 0,05$). Особливої уваги заслуговує зменшення стандартної помилки та стандартного відхилення у тварин дослідної групи, зокрема на 70-у добу, що вказує про високу узгодженість і стабільність імунної відповіді.

Таблиця 3.18

Фагоцитарний індекс крові свиноматок-ваготоніків за дії наноаквохелатів германію та заліза, од.

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|------|------|-------|------|------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,15 | 6,19 | 0,33 | 1,66 | 5,89 | 6,74 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,15 | 6,78 | 0,34 | -0,96 | 6,28 | 7,07 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,18 | 6,26 | 0,40 | 1,02 | 5,84 | 6,89 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,10 | 6,91 | 0,23 | -1,38 | 6,54 | 7,13 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,19 | 6,32 | 0,45 | 0,71 | 5,83 | 6,97 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,05 | 6,98 | 0,11 | 0,77 | 6,87 | 7,15 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у тварин дослідної групи увесь діапазон фагоцитарного індексу був зміщений у бік

вищих значень порівняно з контролем. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та перебували в межах фізіологічної норми.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-ваготоніків сприяє підвищенню фагоцитарного індексу крові, що відображає посилення інтенсивності фагоцитозу та активацію клітинної ланки неспецифічного імунітету.

На основі аналізу кореляційної залежності між фагоцитарним індексом та показниками автономної нервової системи у свиноматок-ваготоніків встановлено стабільні і виражені обернені взаємозв'язки як у контрольній, так і в дослідній групах протягом усього періоду досліджу.

У контрольній групі тварин-ваготоніків встановлено сильні негативні кореляції між фагоцитарним індексом та індексом напруги, індексом автономної рівноваги, а також автономним показником ритму. Найбільш виражена обернена залежність простежувалася між фагоцитарним індексом та АПР на кінцевому етапі дослідження ($r = (-0,84)$). Отримані дані вказують про тісну зворотну взаємодію між функціональною активністю фагоцитів та параметрами парасимпатичної регуляції.

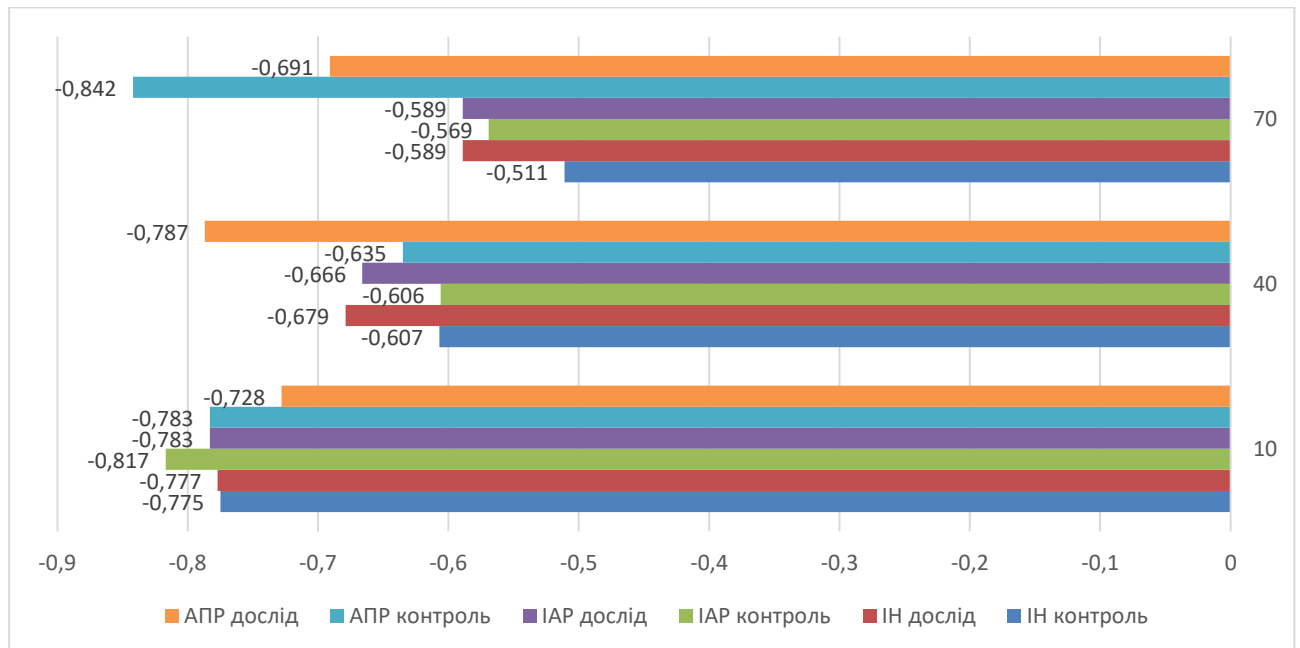


Рис. 3.31. Кореляційна залежність фагоцитарного індексу із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У дослідній групі тварин-ваготоніків характер кореляцій залишався оберненим і високим за силою. Коефіцієнти кореляції між фагоцитарним індексом та ІН, ІАР і АПР знаходилися у межах $r = (-0,59) \dots (-0,78)$. Хоча в динаміці спостерігалось певне зменшення сили окремих кореляцій, загальна спрямованість взаємозв'язків зберігалася негативною та стабільною.

У таблиці 3.19 наведено показники фагоцитарного індексу крові свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза. У контрольній групі свиноматок-симпатотоніків фагоцитарний індекс крові характеризувався відносною стабільністю протягом усього періоду дослідження, що вказує про вищу базальну інтенсивність фагоцитозу порівняно з нормо- та ваготоніками. Низькі значення стандартного відхилення вказують на високу однорідність вибірок і стабільний функціональний стан фагоцитарної ланки імунітету.

Таблиця 3.19

**Фагоцитарний індекс крові свиноматок-симпатотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, од.**

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,07 | 7,07 | 0,17 | 0,67 | 6,89 | 7,31 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,15 | 7,40 | 0,34 | 0,87 | 7,09 | 7,91 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,06 | 7,13 | 0,14 | 0,22 | 6,99 | 7,29 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,13 | 7,69 | 0,29 | 0,42 | 7,34 | 8,09 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,06 | 7,15 | 0,13 | 0,41 | 7,01 | 7,32 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,12 | 7,74 | 0,26 | 0,05 | 7,41 | 8,05 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У тварин дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, відмічено виражене підвищення фагоцитарного індексу крові у всі періоди дослідження. Уже на 40-у і 70-у добу дослідження встановлено вірогідне зростання середнього значення показника ($P < 0,01$). Зростання стандартного

відхилення у дослідної групи залишалося помірним і не виходило за межі фізіологічної норми.

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у дослідної групи тварин увесь діапазон фагоцитарного індексу був зміщений у бік вищих значень порівняно з контролем, що підтверджує посилення інтенсивності фагоцитозу під впливом досліджуваних наносполук. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та свідчили про збереження однорідності вибірок.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків сприяє суттєвому підвищенню фагоцитарного індексу крові, що відображає активацію клітинної ланки неспецифічного імунітету та підвищення функціональної активності фагоцитів.

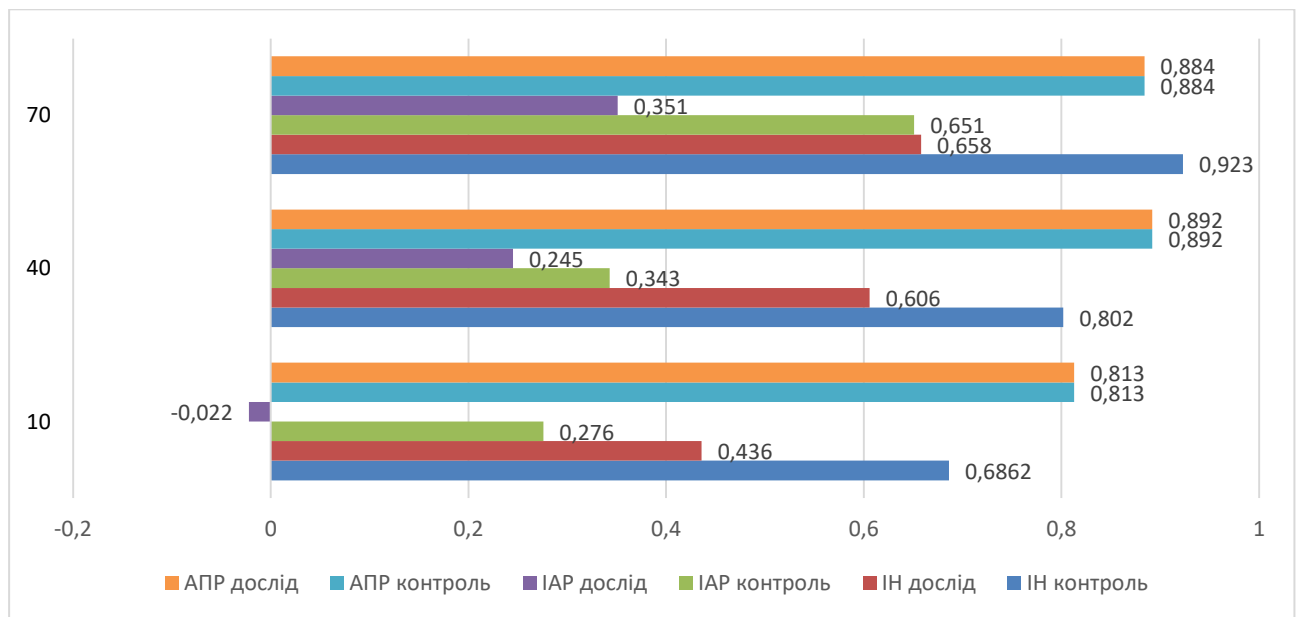


Рис. 3.32. Кореляційна залежність фагоцитарного індексу із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

Аналіз кореляційної залежності між фагоцитарним індексом та показниками автономної нервової системи у свиноматок-симпатикотоніків продемонстрував стабільні прямі взаємозв'язки, більш виражені у контрольній групі та дещо менш інтенсивні – у дослідній групі. Так, у контрольній групі встановлено сильний позитивний зв'язок між індексом напруги та

фагоцитарним індексом ($r = 0,69-0,92$), причому сила кореляції зростала в динаміці дослідження. Аналогічна тенденція встановлено і між індексом автономної рівноваги та фагоцитарним індексом: від слабо-помірного позитивного зв'язку на 10 добу дослідження ($r = 0,27$) до вираженого позитивного на 70 добу дослідження ($r = 0,65$). Найбільш стабільною та високою була кореляція між автономним показником ритму та фагоцитарним індексом ($r = 0,81-0,89$), що вказує про тісну інтеграцію функціональної активності фагоцитів із параметрами симпатичної регуляції.

У дослідній групі також встановлено позитивні кореляційні зв'язки між фагоцитарним індексом та ІН ($r = 0,44-0,66$), які зберігалися протягом усього періоду дослідження. Взаємозв'язок із ІАР мав менш виражений характер, коливаючись від мінімального до помірного позитивного. Кореляція між АПР та фагоцитарним індексом залишалася стабільно сильною та позитивною ($r = 0,81-0,89$).

За результатами наших досліджень встановлено, що фагоцитарний індекс у крові свиноматок контрольних груп був найнижчим у тварин-ваготоніків, тоді як найвищим даний показник був у тварин-симпатотоніків. Варто також зазначити що протягом усього дослідження фагоцитарний індекс крові незначно зростав (рис. 3.33). За дії наноаквохелатів германію та заліза встановлено вірогідне зростання фагоцитарного індексу на 10 добу дослідження лише у дослідній групі тварин-ваготоніків, де порівняно з контролем він зріс на 9,5% ($P < 0,05$).

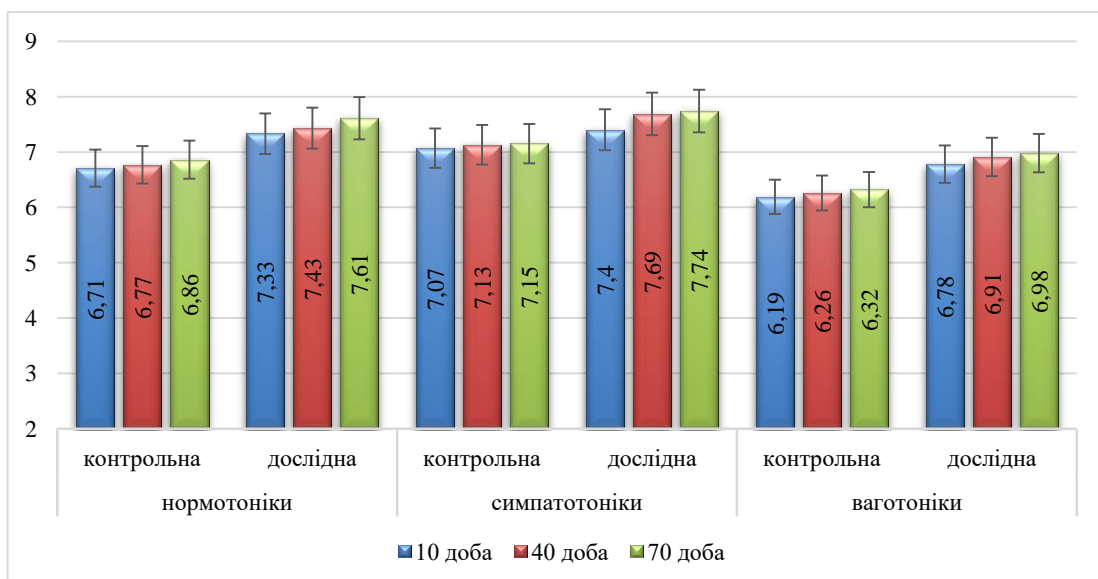


Рис. 3.33. Фагоцитарний індекс крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, од. ($M \pm m$, $n=5$)

На 40 добу досліду встановлено вірогідне зростання фагоцитарного індексу у тварин-нормотоніків на 9,7% ($P<0,05$), у тварин-симпатотоніків – на 7,9% ($P<0,01$) та у тварин-ваготоніків – на 10,4% порівняно з контролем. На 70 добу досліду у свиноматок, яким задавали наноаквохелати германію та заліза, найвищим фагоцитарний індекс був у крові свиноматок-симпатотоніків, де відповідно становив $7,74 \pm 0,12$ од. ($P<0,01$).

У таблиці 3.20 наведено показники рівня циркулюючих імунних комплексів у крові свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні періоди дослідження. У свиноматок-нормотоніків контрольної групи рівень ЦК у крові протягом усього періоду дослідження залишався відносно стабільним. Значення стандартного відхилення та незначна асиметрія розподілу вказує про помірну варіабельність показника та однорідність вибірок, що відображає стабільний стан імунних реакцій за фізіологічних умов.

Таблиця 3.20

Циркулюючі імунні комплекси у крові свиноматок-нормотоніків за дії наноаквохелатів германію та заліза, ммоль/л

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 1,16 | 84,09 | 2,59 | -0,10 | 80,74 | 87,32 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,87 | 79,67 | 1,95 | -0,17 | 76,97 | 82,21 |
| Контроль 40 доба | 5 | 1,47 | 84,64 | 3,28 | -0,42 | 80,23 | 87,81 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,77 | 78,94 | 1,72 | 0,30 | 77,02 | 81,25 |
| Контроль 70 доба | 5 | 1,21 | 84,53 | 2,70 | -0,78 | 80,56 | 86,95 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,88 | 77,79 | 1,97 | 0,73 | 75,82 | 80,64 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У дослідної групи свиноматок, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, відмічено стійку тенденцію до зниження рівня циркулюючих імунних комплексів у всі періоди дослідження. Уже на 10-у добу середнє значення ЦК зросло на 5,3% ($P < 0,05$), а на 40-у та 70-у доби – відповідно на 6,7% ($P < 0,01$) і 8,0% ($P < 0,01$) порівняно з контролем. Зменшення стандартної помилки та стандартного відхилення у дослідної групи вказує на стабільність і відтворюваність отриманого ефекту.

Аналіз мінімальних і максимальних значень вказує на те, що у дослідних тварин діапазон показників ЦК був зміщений у бік нижчих значень порівняно з контролем, що може вказувати про зниження напруженості імунних реакцій. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та перебували в межах фізіологічної норми.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків сприяє зниженню рівня циркулюючих імунних комплексів у крові, що може вказувати на нормалізацію імунного гомеостазу та зменшення імунного навантаження на організм свиноматок.

Аналіз кореляційної залежності між циркулюючими імунними комплексами та показниками автономної нервової системи у нормотоніків вказує на виражені відмінності між контрольною та дослідною групами. У контрольній групі встановлено дуже високі та стабільні позитивні кореляційні зв'язки між ЦК і всіма показниками автономної регуляції. Коефіцієнти кореляції між ЦК та індексом напруги знаходилися у межах $r = 0,93-0,98$, між індексом автономної рівноваги – $r = 0,95-0,97$, а між автономним показником ритму – $r = 0,94-0,97$.

У свиноматок-нормотоніків дослідної групи характер кореляцій залишався позитивним, однак їх сила була значно меншою. Зв'язок між ЦК та ІН мав слабкий або помірний позитивний характер ($r = 0,08-0,29$) із тенденцією до зменшення на 70 добу досліду. Кореляція з ІАР також залишалася позитивною, але помірної сили ($r = 0,14-0,38$). Взаємозв'язок із АПР характеризувався

помірним позитивним рівнем ($r = 0,27-0,48$), без тенденції до різкого посилення (рис. 3.34).

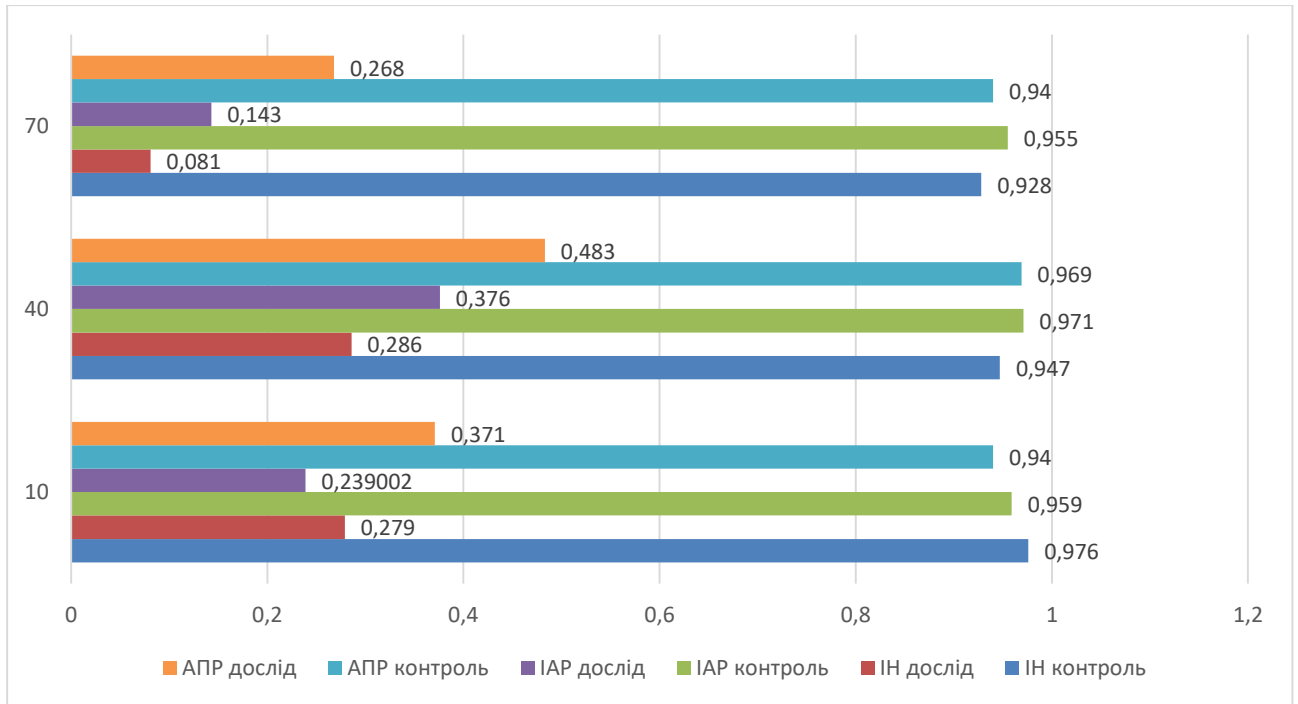


Рис. 3.34. Кореляційна залежність циркулюючих імунних комплексів із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

У таблиці 3.21 наведено показники рівня циркулюючих імунних комплексів у крові свиноматок-ваготоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза. Встановлено, що у крові свиноматок контрольної групи рівень ЦІК протягом усього періоду дослідження залишався стабільно підвищеним порівняно з нормотоніками. Значення стандартного відхилення і відсутність вираженої асиметрії розподілу вказує про помірну варіабельність показника та однорідність вибірок, що відображає характерні особливості імунного статусу тварин із ваготонічним типом вегетативної регуляції.

У дослідній групі свиноматок-ваготоніків, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, відмічено чітку тенденцію до зниження рівня циркулюючих імунних комплексів у всі періоди дослідження. Уже на 10-у добу середнє значення ЦІК знизилося на 5,2% ($P < 0,05$), а на 40-у добу – на 6,5% ($P < 0,01$) та 70-у доби – відповідно на 8,7% ($P < 0,01$) відносно контрольної

групи. Зменшення стандартної помилки та стандартного відхилення у дослідної групи вказує про стабільність і відтворюваність імуномодулюючого ефекту.

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у дослідної групи тварин діапазон показників рівня ЦК був зміщений у бік нижчих значень, що може вказувати про зниження напруженості гуморальних імунних реакцій. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та перебували в межах фізіологічних величин.

Таблиця 3.21

**Циркулюючі імунні комплекси у крові свиноматок-ваготоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, ммоль/л**

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 1,18 | 90,07 | 2,63 | -0,62 | 86,25 | 93,01 |
| Дослід 10 доба | 5 | 1,10 | 85,40 | 2,46 | -1,69 | 81,21 | 87,57 |
| Контроль 40 доба | 5 | 1,19 | 89,85 | 2,65 | 0,22 | 86,81 | 93,02 |
| Дослід 40 доба | 5 | 1,04 | 83,98 | 2,33 | -0,53 | 80,56 | 86,84 |
| Контроль 70 доба | 5 | 1,45 | 90,10 | 3,24 | -0,20 | 85,74 | 94,08 |
| Дослід 70 доба | 5 | 1,12 | 82,28 | 2,49 | 0,27 | 79,45 | 85,64 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз кореляційної залежності між рівнем циркулюючих імунних комплексів (ЦК) та показниками автономної нервової системи у ваготоніків наведений на рисунку 3.35. Встановлено позитивний характер взаємозв'язків як у контрольній, так і в дослідній групах, із тенденцією до помірної сили кореляції.

У контрольній групі встановлено слабо-помірні позитивні кореляції між ЦК та ІН ($r = 0,005-0,56$), а також між ЦК та ІАР ($r = 0,07-0,52$). Взаємозв'язок із автономним показником ритму мав слабкий позитивний характер ($r = 0,03-0,12$).

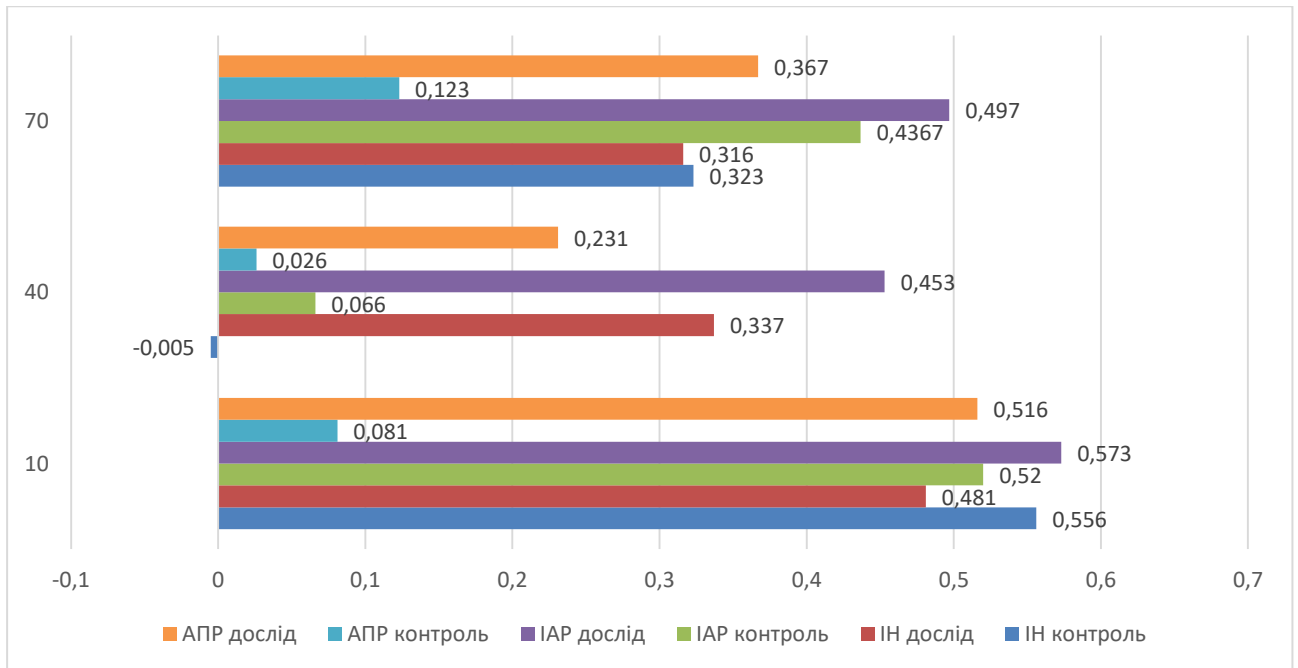


Рис. 3.35. Кореляційна залежність циркулюючих імунних комплексів із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У дослідній групі свиноматок-ваготоніків зв'язок між ЦК та ІН залишався слабким або помірним позитивним ($r = 0,32-0,48$). Кореляція між ЦК та ІАР мала більш стабільний позитивний характер ($r = 0,45-0,57$), що вказує про функціональну залежність гуморальних імунокомплексних процесів від параметрів автономної рівноваги. Взаємозв'язок із АПР також був позитивним, а саме помірної сили ($r = 0,23-0,52$).

Показники рівня циркулюючих імунних комплексів у крові свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза наведені у таблиці 3.22. У свиноматок-симпатотоніків контрольної групи рівень циркулюючих імунних комплексів у крові характеризувався відносною стабільністю протягом усього періоду дослідження. Значення стандартного відхилення і незначна негативна асиметрія розподілу вказують на помірну варіабельність показника та однорідність вибірок, що відображає особливості гуморальної імунної відповіді у тварин із симпатотонічним типом вегетативної регуляції.

**Циркулюючі імунні комплекси у крові свиноматок-симпатотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, ммоль/л**

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 1,32 | 78,15 | 2,95 | -0,28 | 74,47 | 81,31 |
| Дослід 10 доба | 5 | 1,27 | 74,02 | 2,83 | 0,03 | 70,35 | 77,62 |
| Контроль 40 доба | 5 | 1,25 | 78,88 | 2,79 | -0,53 | 74,87 | 82,05 |
| Дослід 40 доба | 5 | 1,09 | 73,07 | 2,43 | 0,85 | 71,23 | 76,46 |
| Контроль 70 доба | 5 | 1,39 | 78,50 | 3,13 | -0,89 | 73,95 | 81,39 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,74 | 72,73 | 1,66 | -0,69 | 70,23 | 74,64 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У дослідної групи свиноматок-симпатотоніків, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до зниження рівня циркулюючих імунних комплексів у їх крові на всіх етапах досліду. При цьому зменшення стандартної помилки та стандартного відхилення, особливо на 70-у добу, вказує про стабільність і відтворюваність імуномодулюючого ефекту.

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у дослідної групи тварин діапазон показників ЦІК був чітко зміщений у бік нижчих значень порівняно з контрольною групою, що може вказувати на зниження інтенсивності імунокомплексоутворення та більш ефективну елімінацію циркулюючих імунних комплексів із кров'яного русла. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та перебували в межах фізіологічної норми.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків сприяє зниженню рівня циркулюючих імунних комплексів у крові, що вказує про нормалізацію імунного гомеостазу.

Аналіз кореляційної залежності між рівнем циркулюючих імунних комплексів та показниками автономної нервової системи у симпатикотоніків наведений на діаграмі 3.36. Встановлено переважно обернений характер взаємозв'язків як у контрольній, так і в дослідній групах, із певною варіабельністю сили кореляцій у динаміці досліду.

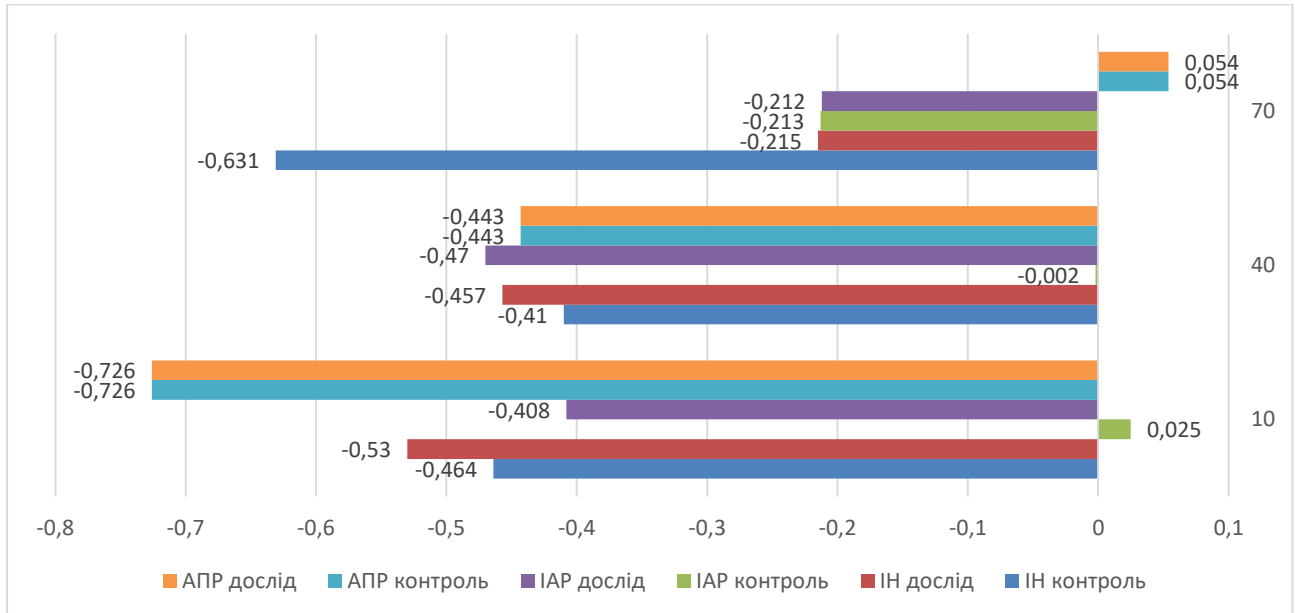


Рис. 3.36. Кореляційна залежність циркулюючих імунних комплексів із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

У контрольній групі свиноматок-симпатотоніків встановлено помірні негативні кореляції між рівнем ЦІК та індексом напруги ($r = (-0,41) \dots (-0,63)$). Кореляція між ЦІК та індексом автономної рівноваги була слабкою або мінімальною, із тенденцією до посилення оберненого зв'язку на 70 добу досліду. Взаємозв'язок із автономним показником ритму на 10 добу досліду мав виражений негативний характер ($r = (-0,73)$), у подальшому послаблювався і на 70 добу досліду набував мінімального значення.

У дослідній групі свиноматок-симпатотоніків зберігалася обернена залежність між ЦІК та ІН ($r = (-0,21) \dots (-0,53)$), а також між ЦІК та ІАР ($r = (-0,21) \dots (-0,47)$), що вказує про зворотну функціональну взаємодію гуморальних імунокомплексних механізмів із параметрами автономної

регуляції. Кореляція між ЦК та АПР на 10 добу досліду була помірною негативною, проте в подальшому зменшувалася до мінімальних значень.

На основі проведених досліджень встановлено, що у крові свиноматок контрольних груп в залежності від типу автономної нервової системи рівень циркулюючих імунних комплексів коливався у межах фізіологічних величин. На 40 і 60 доби досліду рівень ЦК поступово зростав, однак варто зазначити, що найвищим рівень ЦК був у крові свиноматок-ваготоніків контрольної групи, а найнижчим – у свиноматок-симпатотоніків. Застосування наноаквохелатів германію та заліза дослідним свиноматкам сприяло вірогідному зниженню рівня ЦК на 10 добу досліду у крові тварин-нормотоніків на 5,3% ($P < 0,05$) та у крові тварин-ваготоніків – на 5,2% ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. На 40 добу досліду рівень ЦК у крові тварин-нормотоніків дослідної групи знизився на 6,7% ($P < 0,01$), а у тварин-нормотоніків – на 7,4% ($P < 0,01$) відносно показників контролю. У крові свиноматок-ваготоніків дослідної групи у вказаний період рівень ЦК знизився на 6,5% ($P < 0,01$). На 70 добу досліду рівень ЦК у крові свиноматок дослідної групи був найвищим у тварин-ваготоніків, тоді як у тварин-нормотоніків даний показник знизився на 8,0% ($P < 0,01$) порівняно з еонтрольною групою. Найнижчим рівень ЦК на 70 добу досліду був у крові свиноматок-симпатотоніків, де відповідно він знизився 7,4% ($P < 0,01$) за показники свиноматок-симпатотоніків контрольної групи.

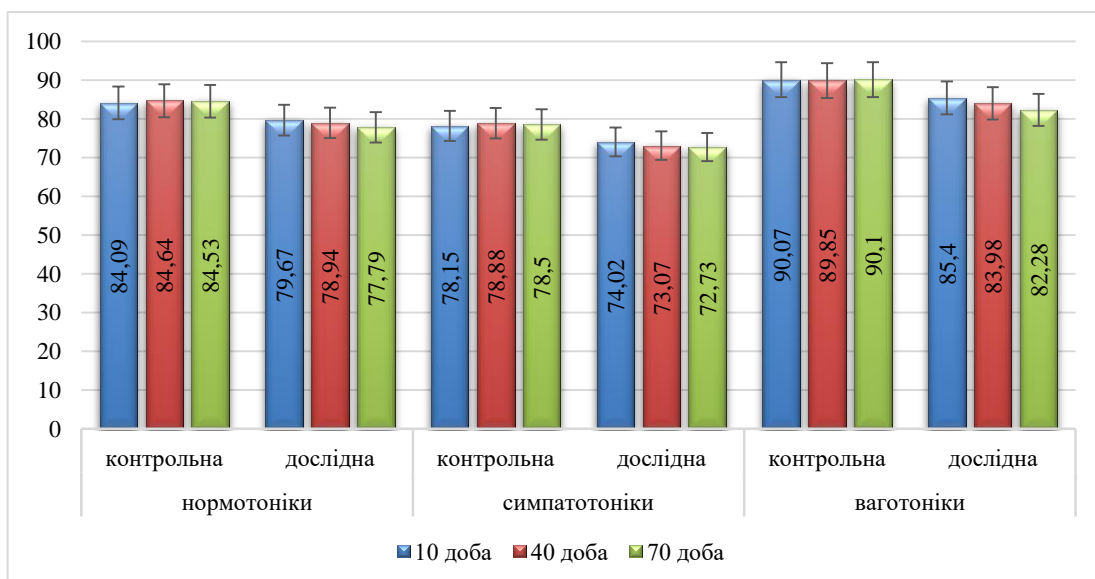


Рис. 3.37. Циркулюючі імунні комплекси у крові свиноматок за дії
наноаквохелатів германію та заліза, ммоль/л ($M \pm m$, $n=5$)

Важливе значення має клітинна ланка імунної системи, яка підтримується неспецифічними та специфічними факторами захисту. До клітинних специфічних факторів захисту відносять Т- і В-лімфоцити, а також макрофаги. У таблиці 3.23 наведено кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза. У крові свиноматок-нормотоніків контрольної групи кількість В-лімфоцитів протягом усього періоду дослідження залишався відносно стабільною. Значення стандартного відхилення та помірні коливання коефіцієнта асиметричності вказують про допустиму варіабельність показника та відображають фізіологічні особливості гуморальної ланки імунітету у тварин контрольної групи.

У крові свиноматок-нормотоніків дослідної групи, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до зростання кількості В-лімфоцитів на всіх етапах дослідження. Уже на 10-у добу середня кількість В-лімфоцитів зростає на 2,8%, а на 40-у та 70-у доби – на 3,6% ($P < 0,05$) та 5,0% ($P < 0,05$) відповідно. Зменшення стандартної помилки та стандартного відхилення у дослідної групи вказує про стабільність і відтворюваність імунної відповіді.

Таблиця 3.23

**Кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок-нормотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Нормотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|--------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 1,08 | 32,60 | 2,41 | 0,601 | 30,00 | 36,00 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,93 | 35,40 | 2,07 | 0,236 | 33,00 | 38,00 |
| Контроль 40 доба | 5 | 1,11 | 33,80 | 2,49 | 1,671 | 32,00 | 38,00 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,93 | 37,40 | 2,07 | 0,236 | 35,00 | 40,00 |
| Контроль 70 доба | 5 | 1,86 | 33,40 | 4,16 | 0,397 | 29,00 | 39,00 |
| Дослід 70 доба | 5 | 1,08 | 38,40 | 2,41 | -0,601 | 35,00 | 41,00 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз мінімальних і максимальних значень показав, що у дослідної групи тварин увесь діапазон показників був зміщений у бік вищих значень порівняно з контрольною групою, що вказує на активацію гуморальної ланки імунітету за впливу досліджуваних наносполук германію та заліза. Коливання коефіцієнта асиметричності не мали системного характеру та перебували в межах фізіологічної норми.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків сприяє підвищенню кількості В-лімфоцитів у крові, що вказує про стимуляцію гуморальної імунної відповіді та підвищення імунобіологічної реактивності організму.

Аналіз кореляційної залежності між кількістю В-лімфоцитів та показниками автономної нервової системи у нормотоніків наведений на рисунку 3.38. Встановлено, що у контрольній групі на 10 добу досліду встановлено слабкі або мінімальні кореляційні зв'язки між кількістю В-лімфоцитів та індексом напруги, індексом автономної рівноваги і автономним показником ритму. У подальшому встановлено формування виражених обернених кореляційних зав'язків між В-лімфоцитами та ІН ($r = (-0,78)$), ІАР ($r = (-0,59)$), а також АПР ($r = (-0,68)$). На 70 добу досліду сила кореляцій зменшувалася та набувала слабого або помірного позитивного характеру.

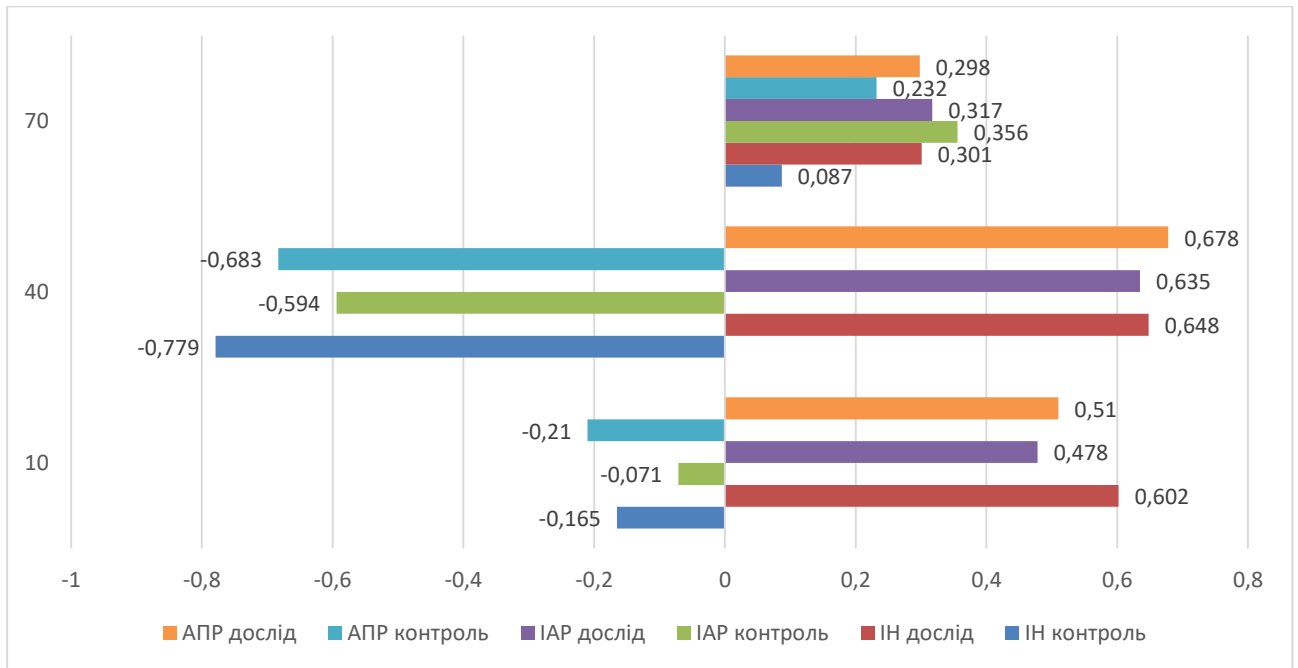


Рис. 3.38. Кореляційна залежність кількості В-лімфоцитів із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у нормотоніків

У дослідній групі встановлено стабільні позитивні кореляційні зв'язки між кількістю В-лімфоцитів та всіма показниками автономної нервової системи. Зв'язок із ІН мав помірний позитивний характер ($r = 0,30-0,65$), з ІАР – помірний або помірно сильний ($r = 0,32-0,64$), а з АПР – помірний позитивний ($r = 0,30-0,68$). У динаміці спостерігалася тенденція до певного зменшення сили кореляцій на 70 добу досліді.

У таблиці 3.24 наведено показники кількості В-лімфоцитів у крові свиноматок-ваготоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза. Встановлено, що у крові свиноматок-ваготоніків контрольної групи кількість В-лімфоцитів протягом усього періоду досліді залишався відносно стабільною. Невеликі значення стандартного відхилення та помірні коливання коефіцієнта асиметричності вказують про однорідність вибірок і відсутність істотних індивідуальних коливань показника.

**Кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок-ваготоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Ваготоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|--------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,86 | 36,80 | 1,92 | -0,590 | 34,00 | 39,00 |
| Дослід 10 доба | 5 | 1,03 | 38,60 | 2,30 | -1,033 | 35,00 | 41,00 |
| Контроль 40 доба | 5 | 0,84 | 37,00 | 1,87 | -0,382 | 35,00 | 39,00 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,86 | 40,20 | 1,92 | 0,590 | 38,00 | 43,00 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,73 | 36,80 | 1,64 | 0,518 | 35,00 | 39,00 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,93 | 39,60 | 2,07 | -0,236 | 37,00 | 42,00 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

У дослідної групи свиноматок-ваготоніків, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до збільшення кількості В-лімфоцитів у їх крові на всіх етапах дослідження. Уже на 10-у добу середній показник зріс на 1,8%, на 40-у добу – на 3,2% ($P < 0,05$), а на 70-у добу – на 2,8% ($P < 0,05$) порівняно з контролем. Зміщення мінімальних і максимальних показників у бік вищих значень підтверджує активацію гуморальної ланки імунітету під впливом досліджуваних наносполук германію та заліза.

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує про відсутність істотних порушень симетрії розподілу даних, а показники стандартної помилки та стандартного відхилення вказують про стабільність і відтворюваність отриманих результатів.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-ваготоніків сприяє підвищенню кількості В-лімфоцитів у крові, що вказує на стимуляцію гуморальної імунної відповіді та підвищення імунобіологічної реактивності організму.

Аналіз кореляційної залежності між кількістю В-лімфоцитів та показниками автономної нервової системи у ваготоніків вказує на виражену динамічність і зміну спрямованості взаємозв'язків у контрольній та дослідній групах (рис. 3.39).

У контрольній групі ваготоніків на початкових етапах спостерігалися помірні позитивні кореляції між кількістю В-лімфоцитів та індексом напруги і індексом автономної рівноваги ($r = 0,37-0,57$), що вказує про певну узгодженість гуморальної ланки адаптивного імунітету з параметрами автономної регуляції. Взаємозв'язок із автономним показником ритму був слабким або мінімальним. На 70 добу досліді кореляційний зв'язок змінювався на обернений, що відображало зворотну залежність між кількістю В-лімфоцитів та рівнем автономного напруження.

У дослідній групі ваготоніків на 10 добу досліді кореляції мали різноспрямований характер: між ІН та ІАР встановлено слабкі або помірні негативні зв'язки, тоді як із АПР – помірний позитивний. У подальшому на 70 добу досліді формувалися виражені обернені кореляційні залежності між кількістю В-лімфоцитів та ІН ($r = (-0,86)$), а також між В-лімфоцитами та ІАР ($r = (-0,93)$). Взаємозв'язок із АПР на 70 добу досліді також набував сильного негативного характеру.

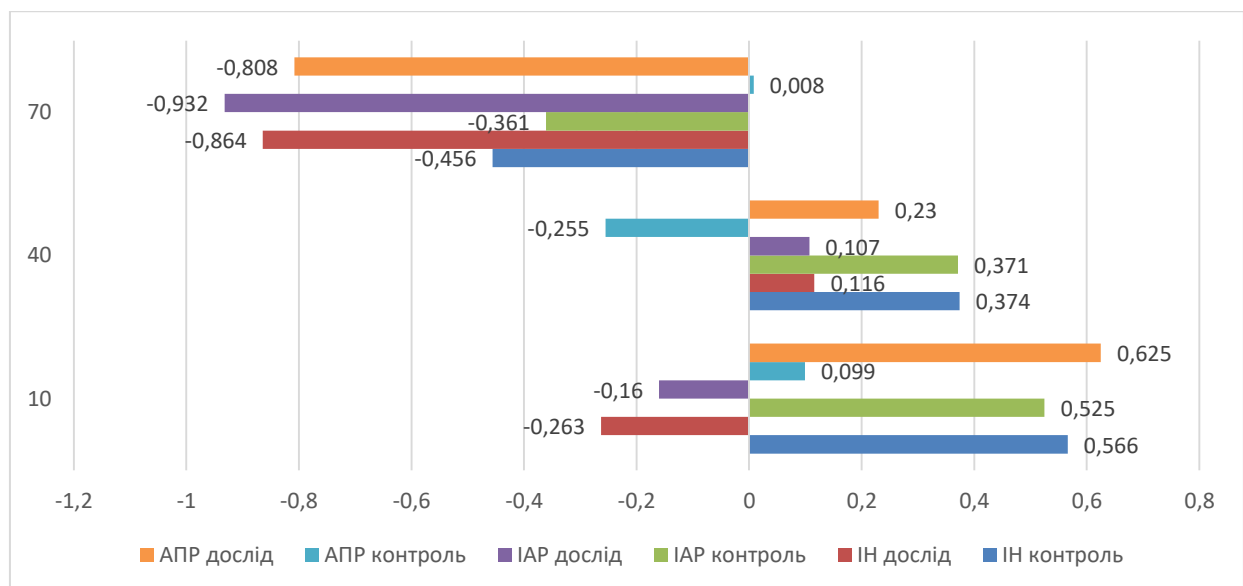


Рис. 3.39. Кореляційна залежність кількості В-лімфоцитів із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у ваготоніків

У таблиці 3.25 наведено результати кількості В-лімфоцитів у крові свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза у різні терміни експерименту. Встановлено, що у крові свиноматок-симпатотоніків кількість В-лімфоцитів протягом усього періоду дослідження залишалася відносно стабільною і перебувала у межах 28,80–29,20 %, що є нижчою порівняно з нормо- та ваготоніками та відображає особливості гуморальної імунної відповіді за симпатотонічного типу вегетативної регуляції. Помірні значення стандартного відхилення (1,58–2,39) та відсутність вираженої асиметрії вказують про однорідність вибірок.

У дослідній групі тварин- симпатотоніків, яким застосовували наноаквохелати германію та заліза, встановлено чітку тенденцію до збільшення кількості В-лімфоцитів у їх крові протягом усього періоду експерименту. Уже на 10-у добу досліду середній показник збільшився до 32,80 %, на 40-у добу – до 33,20 %, а на 70-у добу досліду становив 33,00 %, що суттєво перевищувало контрольні значення. Зміщення мінімальних і максимальних показників у бік вищих значень підтверджує активацію гуморальної ланки імунітету за впливу досліджуваних наносполук германію та заліза.

Аналіз коефіцієнта асиметричності вказує про відсутність системних порушень розподілу показників у дослідній групі, а низькі значення стандартної помилки та стандартного відхилення вказують про стабільність і відтворюваність отриманих результатів.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків сприяє суттєвому підвищенню кількості В-лімфоцитів у крові, що вказує на стимуляцію гуморальної імунної відповіді та нормалізацію імунного статусу організму.

**Кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок-симпатотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза, %**

| Симпатотоніки | КДС | СП | С | СВ | А | Мін. | Мак. |
|------------------|-----|------|-------|------|--------|-------|-------|
| Контроль 10 доба | 5 | 0,71 | 29,00 | 1,58 | 0,000 | 27,00 | 31,00 |
| Дослід 10 доба | 5 | 0,86 | 32,80 | 1,92 | -0,590 | 30,00 | 35,00 |
| Контроль 40 доба | 5 | 1,07 | 29,20 | 2,39 | -0,206 | 26,00 | 32,00 |
| Дослід 40 доба | 5 | 0,66 | 33,20 | 1,48 | -0,552 | 31,00 | 35,00 |
| Контроль 70 доба | 5 | 0,73 | 28,80 | 1,64 | -0,609 | 27,00 | 30,00 |
| Дослід 70 доба | 5 | 0,71 | 33,00 | 1,58 | 0,000 | 31,00 | 35,00 |

Примітки: КДС – кількість дійсних спостережень; СП – стандартна помилка; С – середнє значення; СВ – стандартне відхилення; А – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Мак. – максимальне значення

Аналіз кореляційної залежності між кількістю В-лімфоцитів та показниками автономної нервової системи у свиноматок-симпатикотоніків виявив чіткі відмінності між контрольною та дослідною групами, що вказує про різний характер нейроімунної регуляції клітинної ланки імунітету.

У контрольній групі симпатикотоніків встановлено стабільні та виражені позитивні кореляційні зв'язки між кількістю В-лімфоцитів та індексом напруги, а також між кількістю В-лімфоцитів та індексом автономної рівноваги. Це вказує про пряму залежність клітинної ланки імунної системи від рівня симпатичного напруження. Водночас між кількістю В-лімфоцитів та автономним показником ритму у контрольній групі встановлено стійкий обернений зв'язок ($r = (-0,58)$).

У дослідній групі кореляційні зв'язки між кількістю В-лімфоцитів та показниками автономної нервової системи зберігали позитивну спрямованість, однак їх сила була значно меншою. Кореляція з ІН та ІАР мала слабкий позитивний характер ($r \approx 0,09-0,39$), що вказує про зменшення залежності кількості В-лімфоцитів від симпатичного напруження. Взаємозв'язок між

кількістю В-лімфоцитів та АПР залишався оберненим і помірної сили, аналогічно до свиноматок-симпатотоніків контрольної групи.

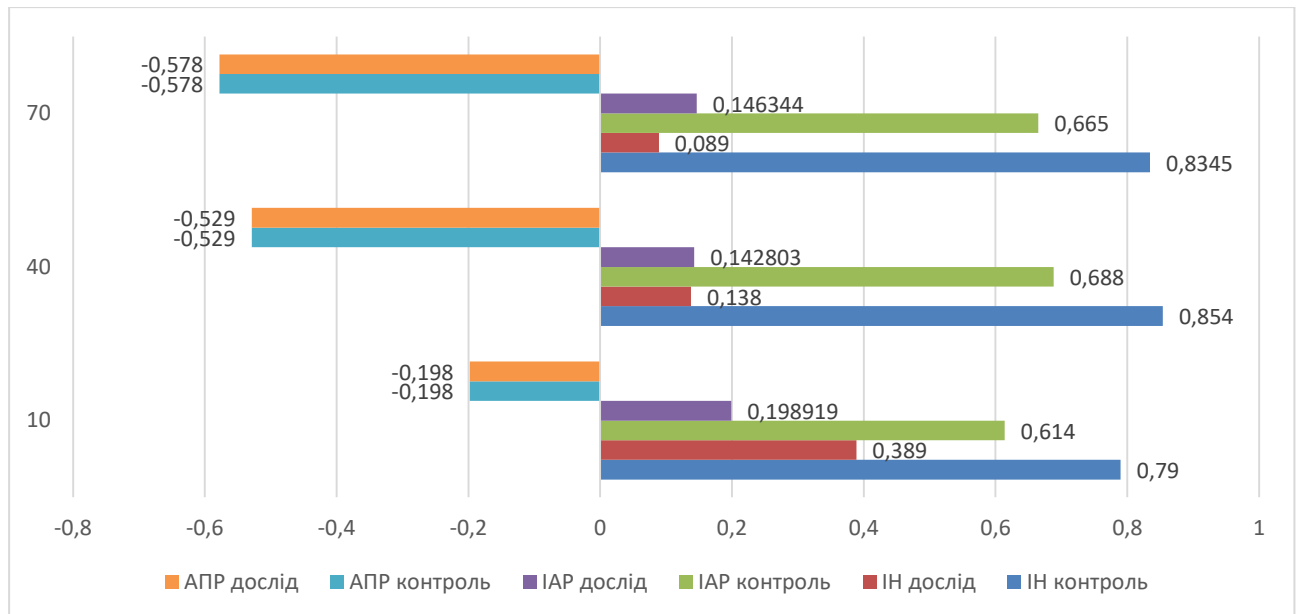


Рис. 3.40. Кореляційна залежність кількості В-лімфоцитів із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у симпатотоніків

На основі проведених досліджень встановлено, що у крові свиноматок контрольних груп найнижчою кількістю В-лімфоцитів була у крові свиноматок-симпатотоніків, а найвищою – у свиноматок-ваготоніків. У свиноматок дослідних груп, яким задавали наноаквохелати германію та заліза, встановлено вірогідне зростання кількості В-лімфоцитів на 10 добу дослідження лише у тварин-симпатотоніків ($P < 0,01$). На 40 добу дослідження кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок-нормотоніків зросла на 3,6% ($P < 0,05$), тоді як у свиноматок-симпатотоніків – на 4,0% ($P < 0,05$). Найвища кількість В-лімфоцитів у крові тварин у вказаний період досліджень була у свиноматок-ваготоніків.

На 70 добу дослідження кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок-нормотоніків, яким задавали наноаквохелати германію та заліза становила $38,4 \pm 1,08\%$ ($P < 0,05$), а у свиноматок-ваготоніків – $39,6 \pm 0,93\%$. Найнижча кількість В-лімфоцитів була у тварин-симпатотоніків (рис. 3.41).

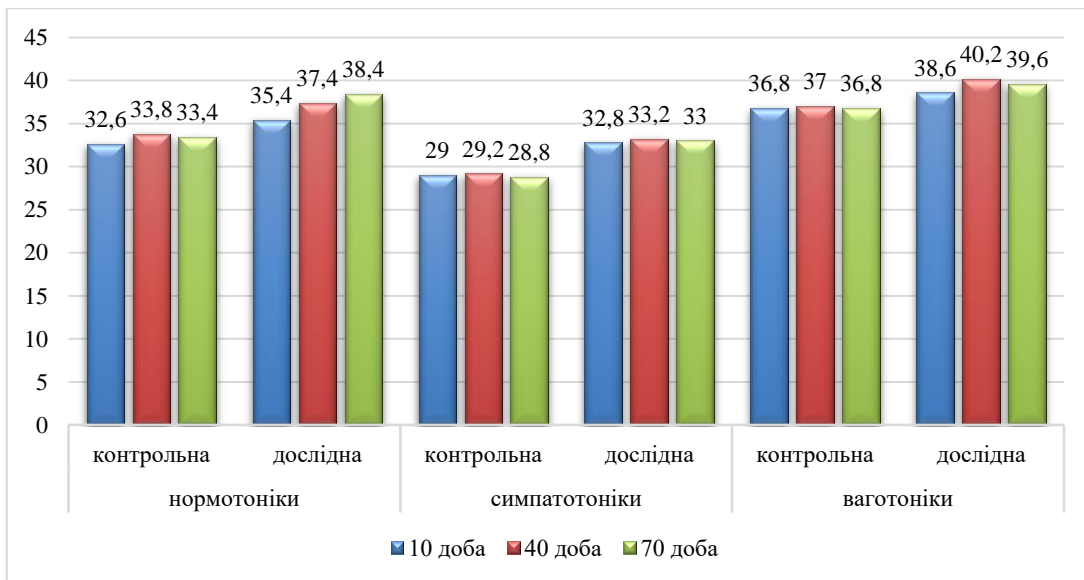


Рис. 3.41. Кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок за дії наноаквохелатів германію та заліза, % ($M \pm m$, $n=5$)

Отже, на основі проведених досліджень встановлено позитивний вплив наноаквохелатів германію та заліза на імунну систему супоросних свиноматок з різним тонусом автономної нервової системи.

3.5. Показники відтворювальної здатності свиноматок різних типів вегетативного тону за дії наноаквохелатів германію та заліза

У таблиці 3.26 наведено показники відтворювальної здатності свиноматок-ваготоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза. Встановлено, що у свиноматок-ваготоніків дослідної групи спостерігалася тенденція до покращення основних показників відтворення порівняно з контрольними аналогами. Так, загальна кількість поросят при народженні у дослідній групі була дещо вищою порівняно з контрольною. Частка мертвонароджених поросят у дослідній групі була нижчою на 0,6% порівняно з контрольною групою. Показник багатоплідності у свиноматок дослідної групи становив перевищував контрольні значення на 3,5%. Водночас істотних відмінностей за показником великоплідності не виявлено: середня жива маса одного поросяти при народженні була практично однаковою в обох групах, що вказує на відсутність негативного впливу наноаквохелатів на розвиток плодів.

Маса гнізда поросят при народженні у свиноматок дослідної групи була більшою на 0,77 кг порівняно з контрольною групою, що узгоджується з

підвищенням багатоплідності. Кількість поросят при відлученні у віці 28 діб у дослідній групі зросла на 8,6%. Показник збереженості поросят був вищим у дослідній групі на 4,4% порівняно з контролем

Переваги застосування наноаквохелатів германію та заліза відзначено й за показниками росту поросят у підсисний період. Середня жива маса одного поросяти під час відлучення у дослідній групі перевищувала контрольне значення на 3,3%, а жива маса гнізда поросят була більшою на 10,64 кг. Середньодобовий приріст поросят у підсисний період у дослідній групі зростав до $226,93 \pm 2,82$ г, тоді як у контролі становив $218,36 \pm 2,51$ г.

Таблиця 3.26

**Показники відтворювальної здатності свиноматок-ваготоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза**

| Показник | Групи | |
|--|-------------|-------------|
| | Контрольна | Дослідна |
| Загальна кількість поросят при народженні, гол. | 13,4±0,68 | 13,8±0,58 |
| Частка мертвонароджених поросят, % | 5,4±0,51 | 4,8±0,37 |
| Багатоплідність, гол. | 12,68±0,28 | 13,14±0,60 |
| Великоплідність, кг | 1,45±0,017 | 1,46±0,016 |
| Маса гнізда поросят при народженні, кг | 18,39±0,08 | 19,16±0,68 |
| Кількість поросят за відлучення у віці 28 діб, гол. | 11,6±0,51 | 12,6±0,68 |
| Збереженість поросят, % | 91,4±5,73 | 95,8±1,69 |
| Середня жива маса одного поросяти під час відлучення, кг | 7,56±0,067 | 7,81±0,077 |
| Жива маса гнізда поросят під час відлучення, кг | 87,83±4,43 | 98,47±5,44 |
| Середньодобовий приріст поросят у підсисний період, г | 218,36±2,51 | 226,93±2,82 |
| Молочність, кг | 243,1±18,59 | 277,6±16,74 |
| Індекс відтворювальної здатності свиноматки, балів | 43,52 | 46,28 |

Підвищення молочності свиноматок дослідної групи на 14,2% порівняно з контрольною групою є одним із ключових чинників покращення збереженості

та інтенсивності росту поросят. У результаті комплексного позитивного впливу наноаквохелатів германію та заліза індекс відтворювальної здатності свиноматок-ваготоніків у дослідній групі зростав до 46,28 бала, тоді як у контрольній групі він становив 43,52 бала.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-ваготоніків сприяє покращенню відтворювальних показників, підвищенню молочності, збереженості та інтенсивності росту поросят, що вказує на доцільність їх використання для оптимізації репродуктивної функції та продуктивності свиноматок із ваготонічним типом вегетативної регуляції.

У таблиці 3.27 наведено показники відтворювальної здатності свиноматок-нормотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза. Аналіз отриманих даних вказує, що використання наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків сприяло покращенню основних репродуктивних показників порівняно з контрольною групою. Загальна кількість поросят при народженні у дослідній групі була дещо вищою порівняно з контролем, тоді як частка мертвонароджених поросят зменшувалася на 0,8%.

Показник багатоплідності у свиноматок-нормотоніків дослідної групи перевищував контрольні значення на 2,2%. Водночас показник великоплідності залишався практично незмінним, що вказує про відсутність негативного впливу наноаквохелатів германію та заліза на внутрішньоутробний розвиток плодів. Маса гнізда поросят при народженні у дослідній групі зростала до 20,92 кг, що узгоджується з дещо вищими показниками багатоплідності.

Також встановлено суттєве покращення показників збереженості та росту поросят. Кількість поросят за відлучення у віці 28 діб у дослідній групі перевищувала показник контрольної групи на 9,8% відповідно. Збереженість поросят у дослідній групі досягала 98,1%, тоді як у контрольній становила 91,6%, що вказує про більш сприятливі умови вирощування в підсисний період.

**Показники відтворювальної здатності свиноматок-нормотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза**

| Показник | Групи тварин | |
|--|--------------|-------------|
| | Контрольна | Дослідна |
| Загальна кількість поросят при народженні, гол. | 14,2±0,66 | 14,4±0,51 |
| Частка мертвонароджених поросят, % | 5,8±0,58 | 5,0±0,44 |
| Багатоплідність, гол. | 13,38±0,40 | 13,68±0,49 |
| Великоплідність, кг | 1,52±0,020 | 1,53±0,023 |
| Маса гнізда поросят при народженні, кг | 20,33±0,16 | 20,92±0,76 |
| Кількість поросят за відлучення у віці 28 діб, гол. | 12,2±0,73 | 13,4±0,4 |
| Збереженість поросят, % | 91,6±4,38 | 98,1±1,95 |
| Середня жива маса одного поросяти під час відлучення, кг | 7,22±0,068 | 7,34±0,057 |
| Жива маса гнізда поросят під час відлучення, кг | 88,10±5,34 | 98,34±3,29 |
| Середньодобовий приріст поросят у підсисний період, г | 203,64±2,72 | 207,36±2,35 |
| Молочність, кг | 237,2±18,59 | 271,0±10,39 |
| Індекс відтворювальної здатності свиноматки, балів | 44,91 | 47,74 |

Позитивний вплив наноаквохелатів германію та заліза проявлявся також у покращенні показників росту поросят. Середня жива маса одного поросяти під час відлучення у дослідній групі зросла на 0,12 кг, а жива маса гнізда поросят зростала на 10,24 кг. Середньодобовий приріст поросят у підсисний період у дослідній групі зріс на 3,72 г порівняно з контрольною групою.

Суттєве зростання молочності свиноматок дослідної групи на 14,2% є одним із визначальних чинників підвищення збереженості та інтенсивності росту поросят. У результаті комплексного позитивного впливу наноаквохелатів германію та заліза індекс відтворювальної здатності свиноматок-нормотоніків у дослідній групі зростав до 47,74 бала, тоді як у контрольній групі він становив 44,91 бала.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-нормотоніків забезпечує покращення відтворювальних показників, підвищення молочності, збереженості та інтенсивності росту поросят, що вказує про доцільність їх використання для оптимізації репродуктивної функції та продуктивності свиноматок із нормотонічним типом вегетативної регуляції.

Показники відтворювальної здатності свиноматок-симпатотоніків за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза наведено у таблиці 3.28. Аналіз наведених даних вказує на те, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок із симпатотонічним типом вегетативної регуляції позитивно впливало на основні репродуктивні показники порівняно з контрольною групою. Загальна кількість поросят при народженні у дослідній групі була дещо вищою за контрольну, тоді як частка мертвонароджених поросят зменшувалася до 5,6%, що вказує про покращення перебігу гестаційного процесу та життєздатності новонароджених.

Показник багатоплідності у свиноматок дослідної групи перевищував контрольне значення на 2,4%. Водночас показник великоплідності у обох групах залишався в межах фізіологічних величин, що вказує на відсутність негативного впливу наноаквохелатів германію та заліза на внутрішньоутробний розвиток плодів. Маса гнізда поросят при народженні у дослідній групі зростала на 0,78 кг порівняно з контрольною групою.

Також у дослідній групі спостерігалось суттєве покращення збереженості та росту поросят. Кількість поросят при відлученні у віці 28 діб у дослідній групі зросла на 12,3% порівняно з контрольною групою. Показник збереженості поросят у дослідній групі перевищував контрольні значення на 9,1% відповідно.

**Показники відтворювальної здатності свиноматок-симпатотоніків за дії
наноаквохелатів германію та заліза**

| Показник | Групи тварин | |
|--|--------------|-------------|
| | Контрольна | Дослідна |
| Загальна кількість поросят при народженні, гол. | 13,6±0,68 | 13,8±0,49 |
| Частка мертвонароджених поросят, % | 6,4±0,51 | 5,6±0,51 |
| Багатоплідність, гол. | 12,73 ± 0,18 | 13,04±0,53 |
| Великоплідність, кг | 1,40±0,015 | 1,42±0,021 |
| Маса гнізда поросят при народженні, кг | 17,82±0,18 | 18,60±1,00 |
| Кількість поросят за відлучення у віці 28 діб, гол. | 11,4±0,81 | 12,8±0,37 |
| Збереженість поросят, % | 89,4±5,75 | 98,5±2,61 |
| Середня жива маса одного поросяти під час відлучення, кг | 7,10±0,045 | 7,26±0,028 |
| Жива маса гнізда поросят під час відлучення, кг | 80,87±5,53 | 92,95±2,90 |
| Середньодобовий приріст поросят у підсисний період, г | 203,57±2,13 | 208,43±1,42 |
| Молочність, кг | 220,7±19,17 | 260,2±8,18 |
| Індекс відтворювальної здатності свиноматки, балів | 42,65 | 45,94 |

Позитивний вплив наноаквохелатів германію та заліза відмічено і за показниками росту поросят. Середня жива маса одного поросяти під час відлучення у дослідній групі перевищувало контрольний показник на 0,16 кг. Жива маса гнізда поросят під час відлучення зростала на 12,08 кг, а

середньодобовий приріст поросят у підсисний період у дослідній групі досягав 208,43 г.

Суттєве підвищення молочності свиноматок дослідної групи на 17,9% порівняно з контролем є одним із ключових чинників підвищення збереженості та інтенсивності росту поросят. У результаті комплексного позитивного впливу наноаквохелатів германію та заліза індекс відтворювальної здатності свиноматок-симпатотоніків у дослідній групі зростав до 45,94 бала, що перевищував контрольний показник, де відповідно він становив 42,65 бала.

Отже, застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків забезпечує покращення відтворювальних показників, підвищення молочності, збереженості та інтенсивності росту поросят, що вказує про доцільність їх використання для оптимізації репродуктивної функції та продуктивності свиноматок із симпатотонічним типом вегетативної регуляції.

Важливим також є дослідження кореляційних зв'язків між показниками продуктивності та показниками вегетативної регуляції: індексом напруги (ІН), індексом автономної рівноваги (ІАР) та автономним показником ритму (АПР).

У нормотоніків контрольної групи встановлено виражений негативний кореляційний зв'язок між кількістю поросят при народженні та показниками автономної регуляції: для ІН $r = (-0,7017)$, для ІАР $r = (-0,59624)$, для АПР $r = (-0,62922)$. У дослідній групі нормотоніків кореляційні зв'язки суттєво послаблювались: ІН ($r = (-0,14287)$), ІАР ($r = (-0,03371)$), АПР ($r = (-0,14281)$).

У ваготоніків контрольної групи встановлено найсильніші негативні кореляції між кількістю поросят та показниками ІН ($r = (-0,78922)$) і ІАР ($r = (-0,72869)$), що вказує про високу чутливість репродуктивної функції до змін рівня регуляторного напруження за переважання парасимпатичного тону. Зв'язок між АПР і багатоплідністю був практично відсутній. У дослідній групі ваготоніків негативні кореляції зберігалися, проте їх сила дещо зменшувалась: ІН ($r = (-0,60522)$), ІАР ($r = (-0,65143)$), АПР ($r = (-0,31809)$).

У симпатотоніків контрольної групи встановлено помірні негативні кореляційні зв'язки між кількістю поросят та ІН ($r = (-0,3437)$), ІАР ($r = (-0,42026)$), а також виражений негативний зв'язок із АПР ($r = (-0,65234)$). У дослідній групі симпатотоніків характер кореляцій змінювався: для ІН $r = 0,35687$, для ІАР $r = 0,22857$, тоді як негативний зв'язок із АПР послаблювався ($r = (-0,31219)$).

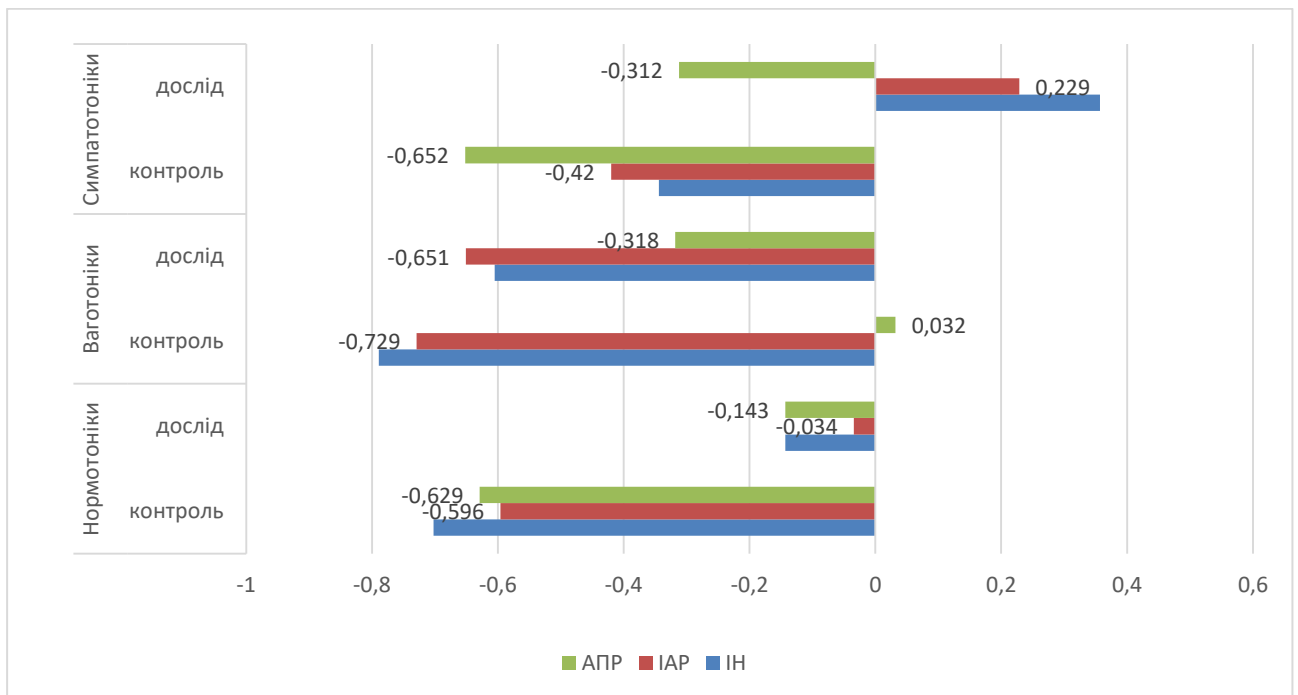


Рис. 3.42. Кореляційна залежність загальної кількості поросят при народженні із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

Узагальнюючи отримані результати щодо кореляційної залежності частки мертвонароджених поросят при народженні із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги у тварин, варто зазначити, що у нормотоніків спостерігається найбільш тісний взаємозв'язок між показниками автономної регуляції та часткою мертвонароджених поросят, що вказує про високу інтеграцію нейровегетативних механізмів із процесами внутрішньоутробного розвитку. У ваготоніків та симпатотоніків характер кореляцій є менш однорідним. Отримані дані підтверджують важливу роль стану автономної нервової системи у формуванні перинатальних втрат та

вказують про необхідність урахування типологічних особливостей вегетативної регуляції при оцінці репродуктивної функції свиноматок.

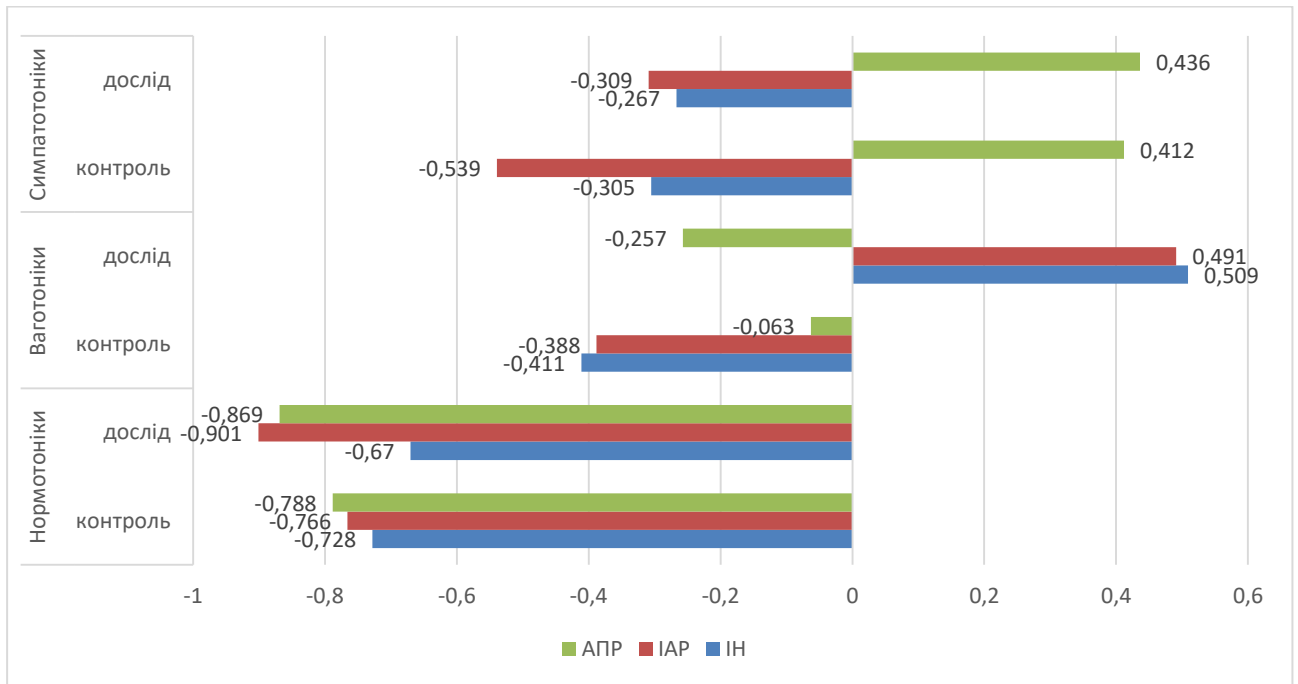


Рис. 3.43. Кореляційна залежність частки мертвонароджених поросят при народженні із індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

Також варто зазначити, що найбільш тісний взаємозв'язок між показниками автономної нервової системи та багатоплідністю встановлено у нормотоніків контрольної групи, де коефіцієнти кореляції досягали рівня дуже сильних зв'язків. У ваготоніків залежність також має виражений характер, тоді як у симпатотоніків спостерігається інша спрямованість взаємозв'язку. У дослідних групах встановлено послаблення кореляційних зв'язків, що вказує про модулюючий вплив досліджуваного чинника на взаємозв'язок автономної регуляції та репродуктивної функції.

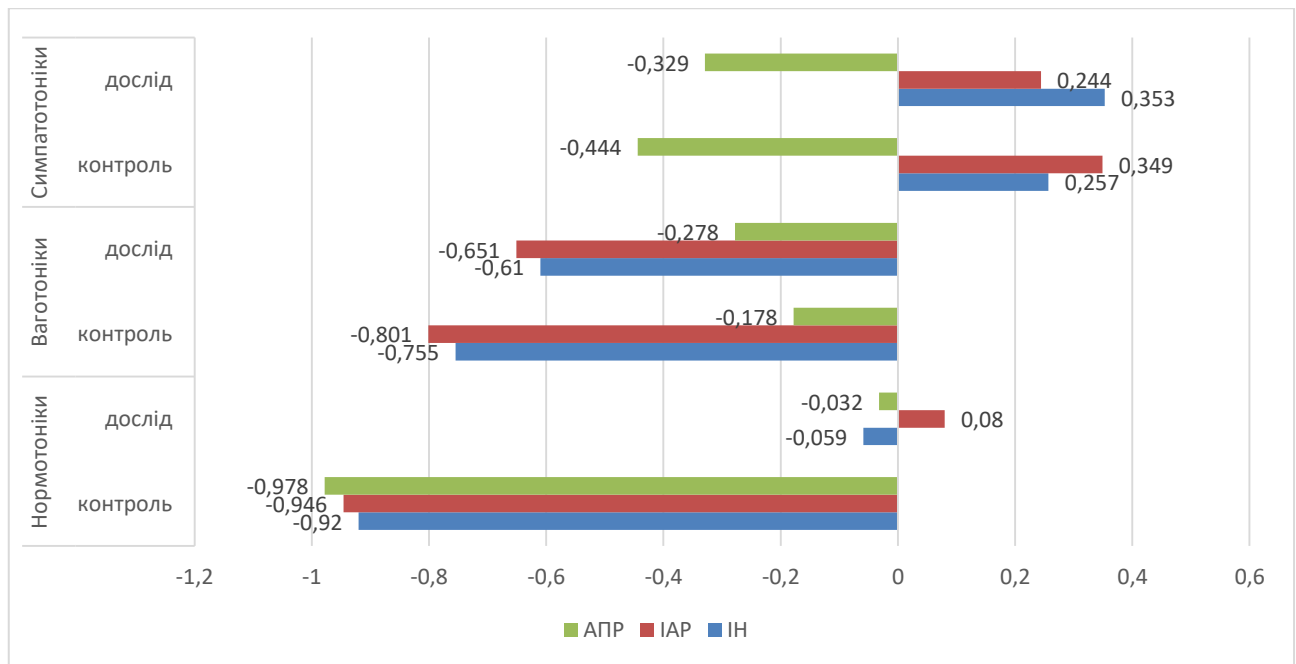


Рис. 3.44. Кореляційна залежність між багатоплідністю та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

Таким чином, отримані дані підтверджують, що функціональний стан автономної нервової системи є вагомим регуляторним чинником, який визначає рівень багатоплідності свиноматок, а тип вегетативної регуляції зумовлює характер і силу цих взаємозв'язків.

Узагальнюючи отримані результати рисунку 3.45, варто зазначити, що характер кореляційних зв'язків між показниками автономної нервової системи та великоплідністю суттєво залежить від типу вегетативної регуляції. У нормотоніків домінує виражена негативна залежність. У ваготоніків і симпатотоніків спостерігається переважно позитивні кореляційні зв'язки між показниками регуляторного напруження та великоплідністю, що вказує про типоспецифічні механізми адаптації. Отримані дані підтверджують, що автономна нервова система є важливим інтегративним чинником, який визначає не лише кількісні, а й якісні характеристики відтворної функції свиноматок.

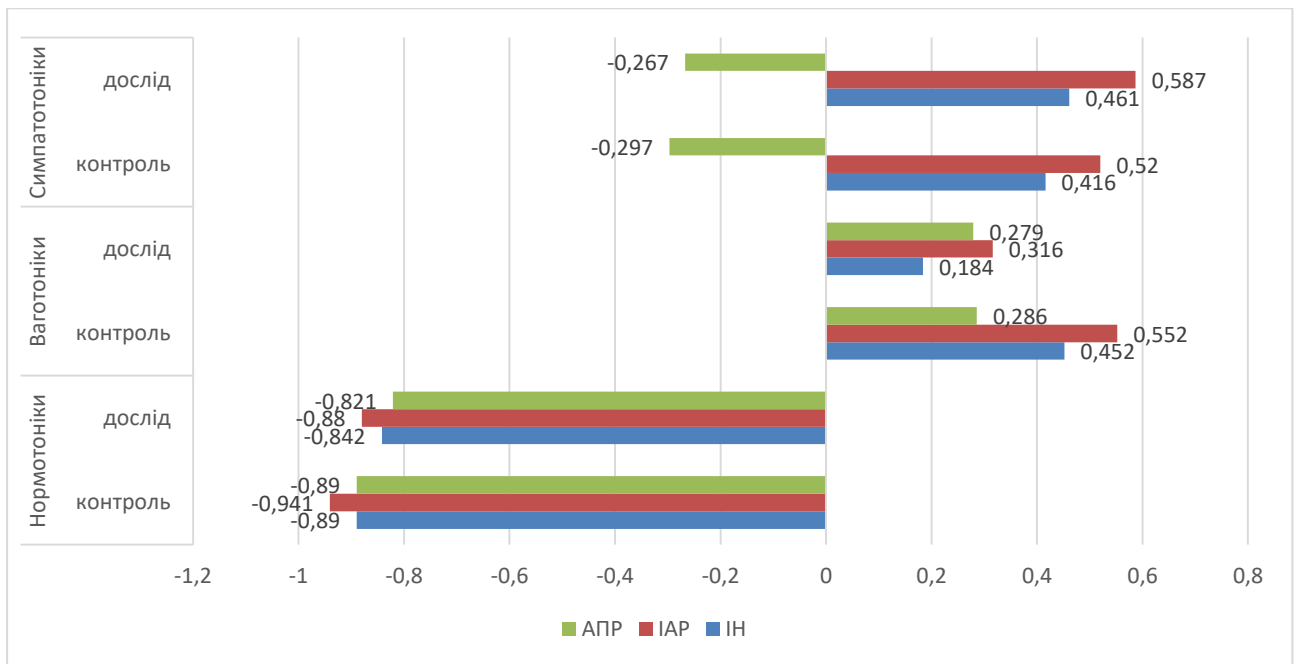


Рис. 3.45. Кореляційна залежність між великоплідністю та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

З метою оцінки впливу стану автономної нервової системи на інтегральний показник відтворної здатності проведено кореляційний аналіз взаємозв'язку між масою гнізда поросят при народженні та індексом напруги, автономним показником ритму і індексом автономної рівноваги у свиноматок різних типів вегетативної регуляції.

Варто зазначити, що характер взаємозв'язку між масою гнізда поросят та показниками автономної нервової системи має чітку типоспецифічну спрямованість. У нормотоніків домінує негативна залежність, що вказує на суттєвий вплив регуляторного напруження на інтегральні показники продуктивності. У ваготоніків і симпатотоніків спостерігається варіабельність кореляційних зв'язків залежно від умов досліду. Отримані дані підтверджують важливу роль автономної нервової системи у формуванні не лише кількісних, а й сумарних продуктивних показників відтворення свиноматок.

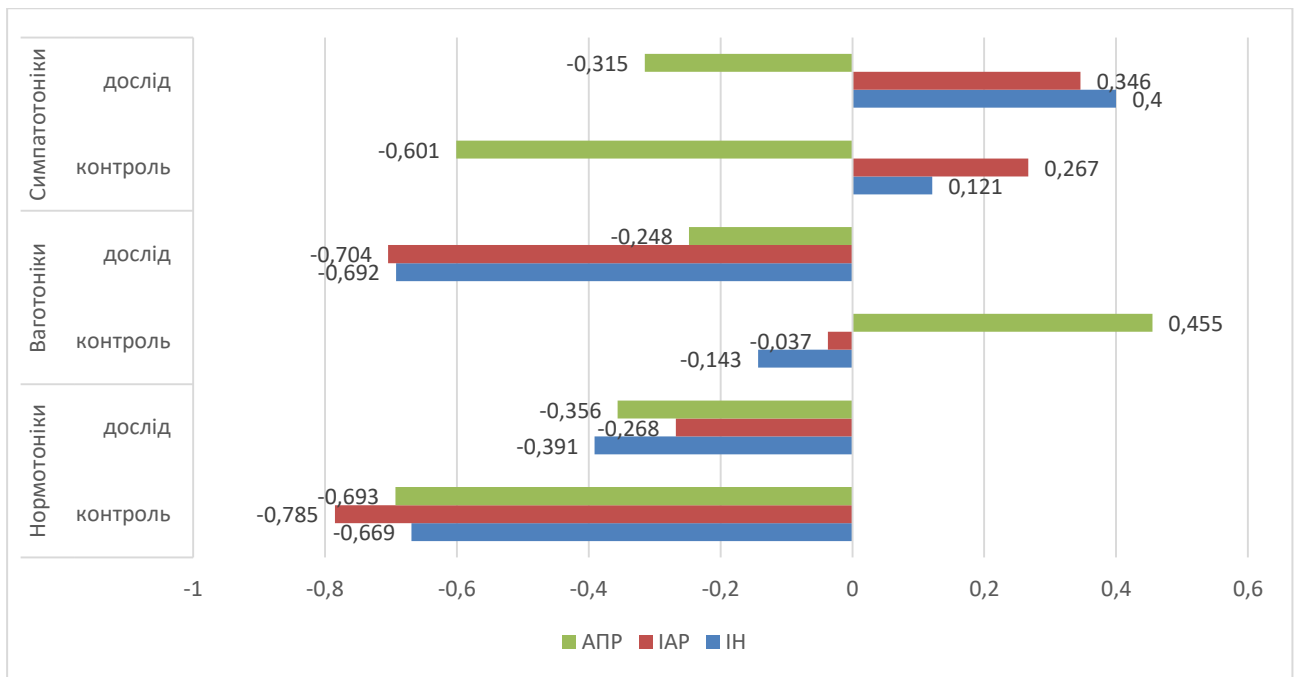


Рис. 3.46. Кореляційна залежність між масою гнізда поросят при народженні та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

З метою визначення ролі автономної нервової системи у формуванні постнатальної збереженості приплоду проведено кореляційний аналіз взаємозв'язку між кількістю поросят за відлучення у віці 28 діб та показниками вегетативної регуляції – індексом напруги (ІН), автономним показником ритму (ІАР) та індексом автономної рівноваги (АПР).

На основі проведеного аналізу варто зазначити, що взаємозв'язок між показниками автономної нервової системи та кількістю поросят за відлучення має специфічний характер. Так, у контрольних групах переважають негативні зв'язки кореляції, що вказують на несприятливий вплив регуляторного напруження на збереженість приплоду. У дослідних групах, особливо у симпатотоніків, спостерігається зміна спрямованості кореляційних зв'язків, що вказує про можливість модулювання нейровегетативних механізмів та їхнього впливу на постнатальну життєздатність поросят.

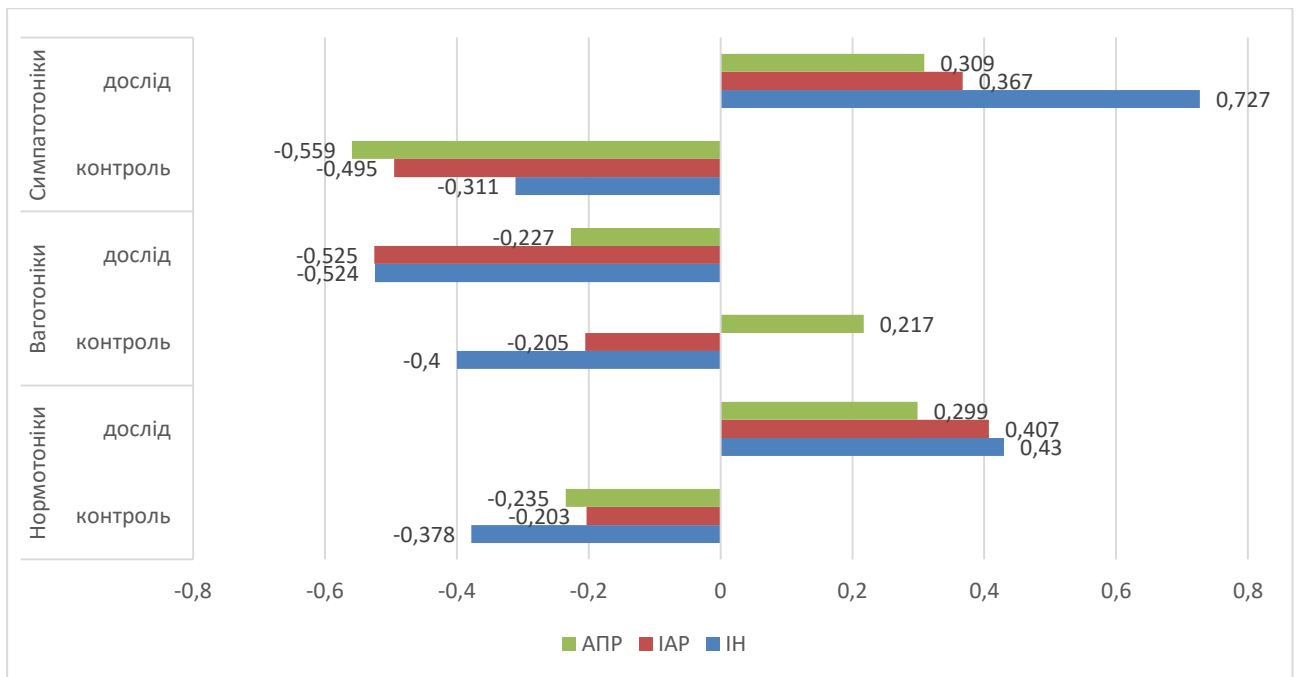


Рис. 3.47. Кореляційна залежність між кількістю поросят за відлучення у віці 28 днів та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

Отримані результати підтверджують, що автономна нервова система є важливим інтегративним регулятором не лише пренатальних, а й постнатальних показників відтворної функції свиноматок.

У нормотоніків контрольної групи встановлено слабкий негативний зв'язок між збереженістю поросят та IH ($r = (-0,130)$), а також помірні негативні кореляції з IAP ($r = (-0,407)$) і АПР ($r = (-0,469)$). У дослідній групі нормотоніків характер кореляцій істотно змінювався: встановлено сильний позитивний зв'язок між збереженістю поросят та IH ($r = 0,719$), а також помірні позитивні кореляції з IAP ($r = 0,451$) і АПР ($r = 0,483$).

У ваготоніків контрольної групи встановлено слабкі позитивні кореляції між збереженістю поросят та IH ($r = 0,126$), IAP ($r = 0,161$), а також помірний позитивний зв'язок із АПР ($r = 0,549$). У дослідній групі ваготоніків кореляційні зв'язки були слабкими: IH ($r = 0,004$), IAP ($r = 0,118$), АПР ($r = 0,045$), що свідчить про зниження залежності збереженості поросят від показників автономної регуляції за умов дії дослідного чинника.

У симпатотоніків контрольної групи встановлено помірні негативні кореляції між збереженістю поросят та ІН ($r = (-0,418)$), ІАР ($r = (-0,638)$), АПР ($r = (-0,535)$). У дослідній групі симпатотоніків характер взаємозв'язків суттєво змінювався: встановлено слабкий позитивний зв'язок із ІН ($r = 0,277$), практично відсутній із ІАР ($r = 0,024$), а також дуже сильний позитивний зв'язок із АПР ($r = 0,861$).

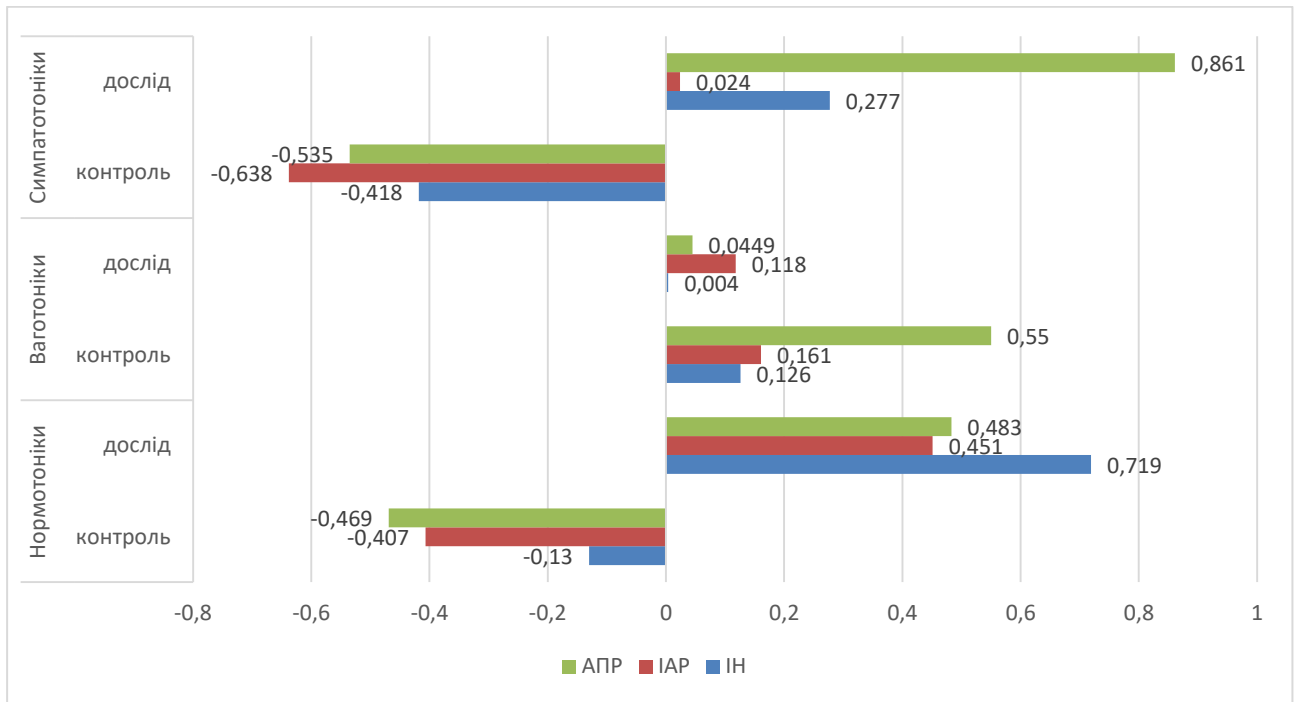


Рис. 3.48. Кореляційна залежність між збереженістю поросят та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

Узагальнюючи отримані результати, варто зазначити, що взаємозв'язок між показниками автономної нервової системи та живою масою гнізда під час відлучення має виражений типоспецифічний характер. У контрольних групах переважають негативні зв'язки, що вказують про несприятливий вплив регуляторного напруження на постнатальну продуктивність. У дослідних групах, особливо у симпатотоніків і нормотоніків, відмічається зміна спрямованості кореляцій із формуванням позитивних зв'язків, що вказує на можливість модулювання нейровегетативних механізмів і їхнього впливу на ріст та розвиток приплоду в ранньому постнатальному періоді.

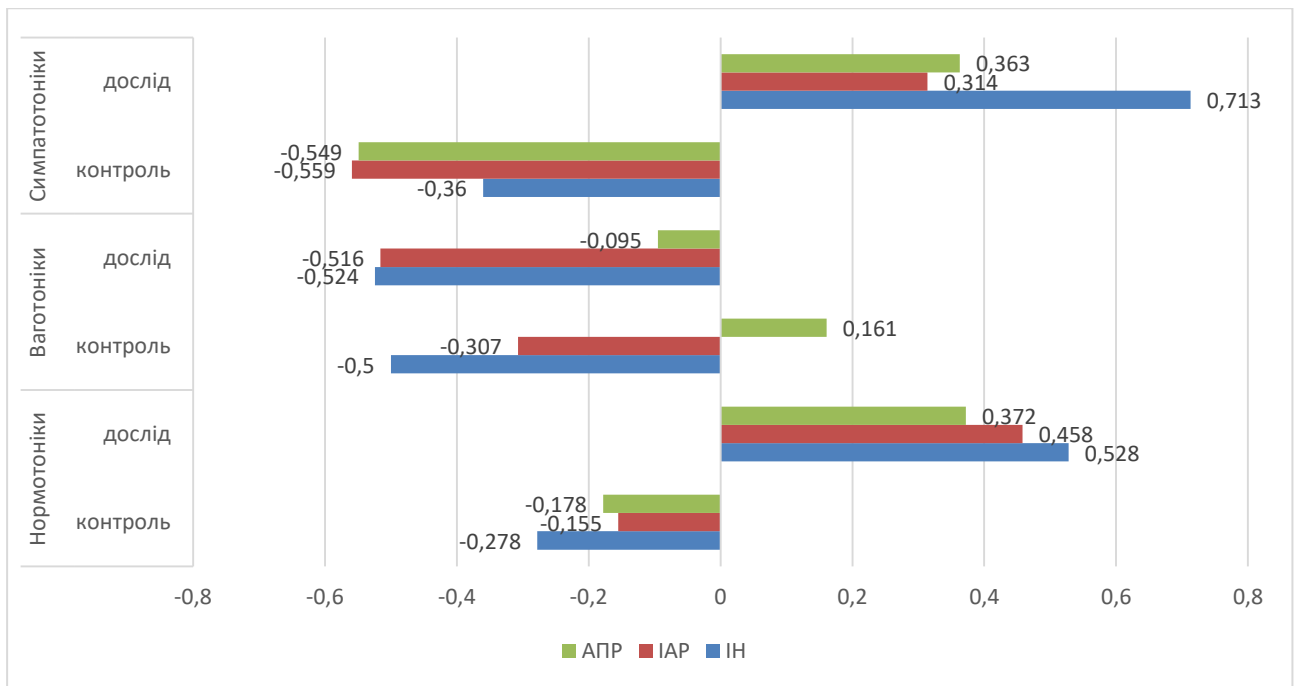


Рис. 3.49. Кореляційна залежність між живою масою гнізда поросят під час відлучення та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

З метою з'ясування ролі автономної нервової системи у формуванні молочності свиноматок проведено кореляційний аналіз взаємозв'язку між рівнем молочної продуктивності та індексом напруги (ІН), автономним показником ритму (ІАР) і індексом автономної рівноваги (АПР) у тварин різних типів вегетативної регуляції.

У нормотоніків контрольної групи встановлено слабкі негативні кореляції між молочністю та ІН ($r = (-0,259)$), ІАР ($r = (-0,132)$), АПР ($r = (-0,158)$), водночас у дослідній групі характер зв'язків змінювався на протилежний із формуванням сильного позитивного зв'язку з ІН ($r = 0,685$) та помірних позитивних кореляцій з ІАР ($r = 0,575$) і АПР ($r = 0,504$).

У ваготоніків у контрольній групі спостерігалися помірні негативні кореляції між молочністю та ІН ($r = (-0,503)$), ІАР ($r = (-0,310)$) при слабкому позитивному зв'язку з АПР ($r = 0,154$), тоді як у дослідній групі негативні асоціації з ІН ($r = (-0,497)$) та ІАР ($r = (-0,486)$) зберігалися, а зв'язок із АПР був слабким і негативним ($r = (-0,072)$).

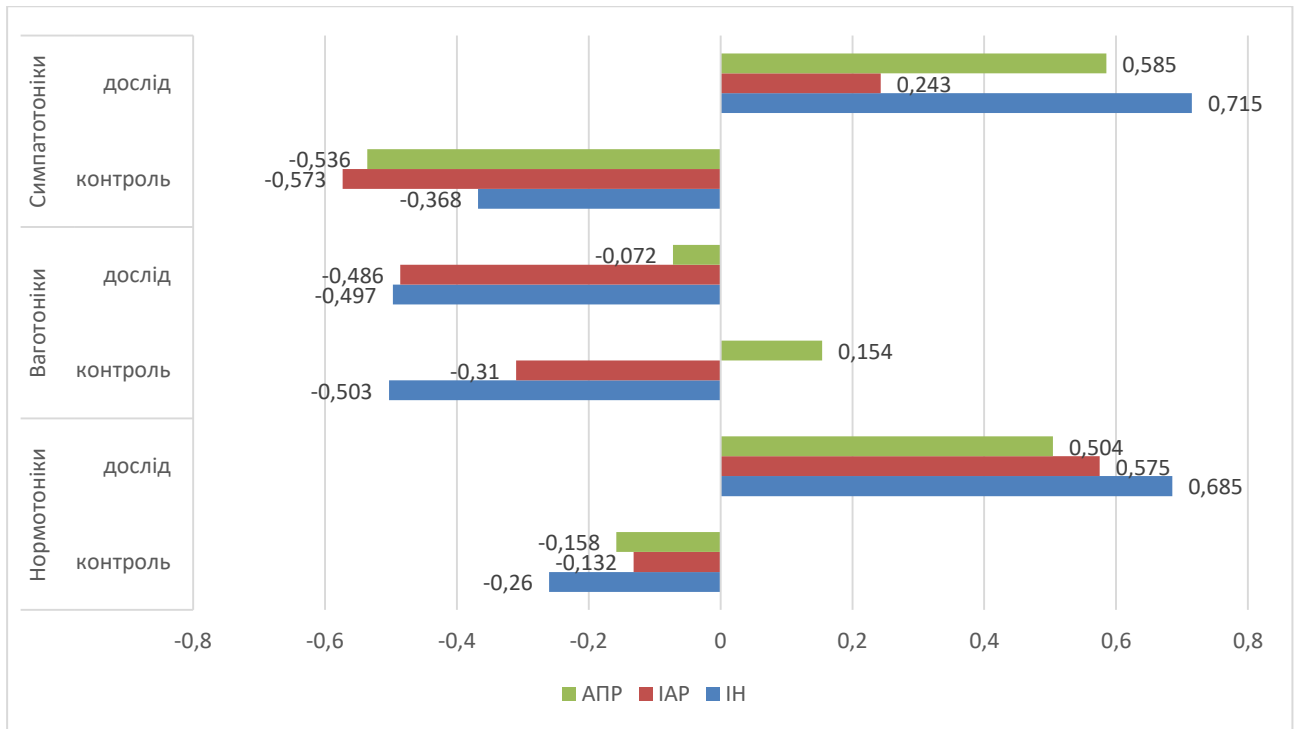


Рис. 3.50. Кореляційна залежність між молочністю та індексом напруги, автономним показником ритму та індексом автономної рівноваги

У симпатотоніків у контрольній групі встановлено помірні негативні кореляції між молочністю та ІН ($r = (-0,368)$), ІАР ($r = (-0,574)$), АПР ($r = (-0,535)$), тоді як у дослідній групі відзначено сильний позитивний зв'язок з ІН ($r = 0,715$), помірного позитивний – з ІАР ($r = 0,243$) та помірно сильний позитивний – з АПР ($r = 0,585$).

Проведені дослідження свідчать, що застосування наноаквохелатів германію та заліза позитивно впливає на відтворювальну здатність свиноматок незалежно від типу вегетативної регуляції. Найбільш виражений ефект встановлено за показниками збереженості поросят, молочності свиноматок, живої маси гнізда під час відлучення та індексу відтворювальної здатності. У свиноматок дослідних груп відзначено зменшення частки мертвонароджених поросят, підвищення багатоплідності, покращення росту молодняку та збільшення кількості поросят при відлученні.

Встановлено, що характер і сила взаємозв'язків між показниками продуктивності та параметрами автономної нервової системи залежать від типу вегетативного тону. У контрольних групах переважали негативні кореляційні

зв'язки між індексом напруги, індексом автономної рівноваги, автономним показником ритму та більшістю показників відтворення. Застосування наноаквохелатів германію та заліза сприяло послабленню або зміні спрямованості цих взаємозв'язків, особливо у нормотоніків та симпатотоніків, що свідчить про нормалізацію механізмів нейровегетативної регуляції репродуктивної функції.

Отримані результати підтверджують важливу роль автономної нервової системи у формуванні відтворювальної продуктивності свиноматок та вказують на високу ефективність використання наноаквохелатів германію та заліза як засобу корекції репродуктивної функції. Найбільш виражений позитивний вплив препарату встановлено у свиноматок із симпатотонічним типом вегетативної регуляції, у яких відзначено максимальне підвищення збереженості поросят, молочності та живої маси гнізда під час відлучення.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Збільшення чисельності населення планети супроводжується стійкою тенденцією до зростання попиту на продукцію тваринного походження, що зумовлює необхідність пошуку нових підходів до підвищення ефективності галузі тваринництва. У сучасних умовах це зумовлює інтенсифікацію виробництва та перехід до промислових технологій ведення свинарства, які характеризуються високою концентрацією поголів'я, застосуванням автоматизованих систем утримання та годівлі, а також жорсткою регламентацією технологічних процесів [11, 49, 58, 87]. За таких умов на організм тварин зростає вплив комплексу технологічних і антропогенних чинників, що виступають потужними стресовими подразниками та сприяють розвитку станів напруження адаптаційних механізмів і так званих хвороб адаптації [51, 104].

Стреси різної етіології, зокрема технологічні, транспортні, температурні та аліментарні, призводять до порушення фізіологічного гомеостазу, зміни нейроендокринної регуляції, а також дисбалансу між реактивністю та резистентністю організму тварин [40, 50, 125]. Внаслідок цього сповільнюються процеси росту та розвитку, знижується продуктивність, репродуктивна здатність та імунобіологічна реактивність, що супроводжується підвищеною сприйнятливістю тварин до інфекційних і неінфекційних захворювань.

Негативний вплив стресових чинників відображається не лише на фізіологічному стані тварин, а й має істотні економічні наслідки для галузі свинарства. Зокрема, зростають витрати кормів на одиницю продукції, погіршується конверсія корму, підвищується захворюваність на гострі та хронічні патології, збільшується вибракування поголів'я, а в окремих випадках спостерігається загибель тварин. Сукупність зазначених чинників призводить до значних економічних збитків і зниження рентабельності виробництва продукції свинарства.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка та впровадження ефективних заходів, спрямованих на підвищення адаптаційних можливостей організму тварин, нормалізацію гомеостазу, зменшення негативного впливу стресових чинників і забезпечення стабільної продуктивності в умовах інтенсивного промислового виробництва.

У цьому контексті важливе значення має вивчення особливостей вищої нервової діяльності у тварин, оскільки саме вона визначає характер адаптаційних реакцій організму на дію зовнішніх чинників та рівень стресостійкості в умовах інтенсивного виробництва [20, 42, 56]. Типологічні особливості вищої нервової діяльності тварин, зумовлені співвідношенням процесів збудження і гальмування у їх корі головного мозку, істотно впливають на перебіг нейроендокринних реакцій, функціональний стан вегетативної нервової системи, а також на імунобіологічну реактивність і продуктивні якості тварин [46, 50]. Саме тому дослідження вищої нервової діяльності у свиней дозволяє оцінити індивідуальні особливості регуляторних механізмів, визначити тип вегетативного тону (ваго-, нормо- або симпатотонічний) та встановити закономірності взаємозв'язку між нервовою регуляцією, імунною відповіддю та відтворювальною здатністю. З огляду на високу лабільність нервової системи свиней, саме показники вищої нервової діяльності можуть слугувати чутливими маркерами адаптаційного напруження та ефективності компенсаторно-приспосувальних реакцій організму за дії технологічних і антропогенних чинників.

Варто також зазначити, що урахування типологічних особливостей вищої нервової діяльності створює наукове підґрунтя для диференційованого підходу до застосування профілактичних та лікувальних заходів, спрямованих на зниження стресового навантаження, нормалізацію автономної регуляції та підвищення продуктивності та резистентності свиней.

Отже, комплексне дослідження вищої нервової діяльності у поєднанні з аналізом гематологічних, біохімічних, імунологічних та відтворювальних

показників є необхідною складовою сучасних наукових підходів до оптимізації технологій ведення свинарства в умовах інтенсивного виробництва.

З огляду на провідну роль вищої нервової діяльності у формуванні адаптаційних реакцій організму свиней, особливої уваги потребує оцінка функціонального стану вегетативної нервової системи, яка забезпечує інтеграцію нейроендокринних, метаболічних та імунних процесів. Для оцінки функціонального стану автономної нервової системи доцільним є використання аналізу варіабельності серцевого ритму, який дає змогу кількісно охарактеризувати співвідношення симпатичних і парасимпатичних впливів.

У вивченні вищої нервової діяльності у свиней широко використовують часові показники варіабельності серцевого ритму, зокрема індекс напруги (ІН), індекс автономної рівноваги (ІАР) та амплітуда моди (АМо), які відображають особливості центральної та периферичної регуляції серцевого ритму [49, 51]. Індекс напруги характеризує ступінь активності симпатичного відділу вегетативної нервової системи та рівень напруження регуляторних механізмів, індекс автономної рівноваги відображає баланс між симпатичними та парасимпатичними впливами, тоді як амплітуда моди є чутливим показником вагусної активності та стабільності серцевого ритму.

Застосування аналізу варіабельності серцевого ритму у комплексі з оцінкою імунологічних та відтворювальних показників дає можливість визначити тип вегетативного тону (нормо-, ваго- або симпатотонічний), а також і встановити закономірності взаємозв'язку між показниками автономної регуляції, імунобіологічною реактивністю та продуктивністю свиней за умов впливу стресових чинників і профілактичних заходів [50]. Таким чином, використання показників варіабельності серцевого ритму є обґрунтованим методологічним підходом для комплексної оцінки адаптаційного стану організму свиней в умовах інтенсивного виробництва.

При визначенні тону автономної нервової системи у свиноматок встановлено, що у досліджених свиноматок господарства переважає симпатотонічний тип автономної регуляції, частка якого складала майже

половину поголів'я (48%). Менша кількість тварин належала до нормотоніків (29%) та ваготоніків (23%), що вказує на нерівномірний розподіл типів вегетативного тонусу в умовах сучасного промислового утримання свиней. Така структура автономної регуляції може бути наслідком тривалого впливу технологічних і антропогенних стресових чинників, які зумовлюють активацію симпатичного відділу вегетативної нервової системи як провідного механізму адаптації.

Аналіз варіаційно-пульсометричних показників підтвердив наявність чітких функціональних відмінностей між свиноматками з різним типом автономного тонусу. У свиней-симпатотоніків встановлено характерні ознаки підвищеного симпатичного впливу, що проявлялося значним зростанням частоти серцевих скорочень, зниженням величини моди та різким підвищенням амплітуди моди. Зменшення показника M_0 у цих тварин відображає переважання процесів збудження у серцево-судинній системі та скорочення тривалості кардіоінтервалів, що є типовим для стану симпатичної активації. Отримані результати добре узгоджуються з літературними даними, згідно з якими симпатотонія супроводжується мобілізацією регуляторних механізмів і підвищенням функціонального напруження серцево-судинної системи [39, 49].

Натомість у свиней-ваготоніків виявлено протилежний характер змін: найвищі значення моди, знижена частота серцевих скорочень, низька амплітуда моди та значне збільшення варіаційного розмаху. Такі зміни відображають домінування парасимпатичної ланки автономної нервової системи, що забезпечує уповільнення серцевого ритму, підвищення варіабельності кардіоінтервалів і загальне зниження рівня функціонального напруження. Зростання величини M_0 , відповідно з даними літератури, може розглядатися як показник вищої адаптованості організму та більш економного режиму регуляції серцево-судинної системи.

Показник амплітуди моди виявився одним із найбільш інформативних маркерів типу автономної регуляції. Максимальні значення AM_0 у свиней-симпатотоніків вказують про високу стабільність серцевого ритму та значну

централізацію регуляторних процесів, що є характерним для стану симпатичної домінації. Водночас низькі значення АМо у ваготоніків відображають зростання ролі парасимпатичних впливів і підвищення гнучкості регуляції серцевого ритму. Обернено пропорційні зміни варіаційного розмаху підтверджують тісний взаємозв'язок між цими показниками та їхню інформативність у комплексній оцінці автономного тону.

Особливу увагу заслуговує індекс напруги, який характеризує рівень стресового навантаження та ступінь мобілізації регуляторних систем. Високі значення індексу напруги у свиней-симпатотоніків вказують про значне напруження механізмів автономної регуляції, що може бути пов'язано зі зниженою стресостійкістю, підвищеною реактивністю та схильністю до нервового виснаження. Низькі показники індексу напруги у ваготоніків, навпаки, вказують на домінування парасимпатичних впливів і більш стабільний функціональний стан організму свиноматок.

Індекс автономної рівноваги, який інтегрує значення амплітуди моди та варіаційного розмаху, чітко відображав баланс між симпатичною і парасимпатичною регуляцією [39, 46]. Максимальні значення індексу автономної рівноваги у свиней-симпатотоніків підтверджують централізацію управління серцевим ритмом і домінування симпатичних механізмів, тоді як мінімальні значення у ваготоніків вказують про перевагу периферичних, парасимпатичних впливів. Свиноматки-нормотоніки, займаючи проміжне положення, характеризувалися найбільш збалансованим типом автономної регуляції.

Показник автономного ритму додатково підтвердив встановлені закономірності. Його найнижчі значення у ваготоніків відображають активну участь парасимпатичної нервової системи у регуляції серцевого ритму, тоді як підвищені значення у симпатотоніків вказують про пригнічення вагусних впливів і домінування симпатичної регуляції.

Узагальнення результатів розділу 3.1 свідчить про наявність суттєвих відмінностей між свиноматками з різним типом автономного тону, що

відображає неоднаковий рівень адаптаційного напруження та функціонального стану організму. Встановлені особливості автономної регуляції є важливим підґрунтям для подальшого аналізу взаємозв'язків між тонусом вегетативної нервової системи, імунологічними показниками та відтворювальною здатністю свиноматок у наступних розділах роботи.

На основі вивчення впливу вегетативної регуляції на гематологічні показники свиней встановлено, що тип вегетативного тонусу у свиноматок асоціюється з відмінностями в основних гематологічних показниках еритроцитарної ланки крові (еритроцити, гемоглобін, гематокрит та середній об'єм еритроциту). Відомо, що вегетативна нервова система через нейроендокринні механізми, судинний тонус та регуляцію тканинного кровопостачання здатна впливати на киснево-транспортну функцію крові і, відповідно, на метаболічне забезпечення організму [86, 87, 97].

Найбільш виражені показники еритроцитарної ланки встановлено у тварин із врівноваженим симпато-вагусним балансом, а саме у нормотоніків. У даних тварин відмічено більшу кількість еритроцитів та вміст гемоглобіну порівняно з симпатотоніками та ваготоніками, що може вказувати про оптимальні умови гемопоезу та більш ефективного забезпечення організму свиноматок киснем. Така особливість є фізіологічно обґрунтованою, адже за нормотонії підтримується відносно стабільний судинний тонус, адекватна мікроциркуляція, що створює сприятливі умови для метаболічної стабільності.

У свиней-симпатотоніків встановлено зниження у їх крові кількості еритроцитів, рівня гемоглобіну та гематокритної величини порівняно з свиноматками-нормотоніками. Така тенденція може відображати стан підвищеного функціонального напруження та мобілізації, який характерний для симпатичної домінації. З практичної точки зору, саме поєднання симпатотонії з нижчим рівнем гемоглобіну та гематокритної величини може створювати ризики зниження адаптаційних можливостей організму у критичні періоди технологічного навантаження.

Ваготоніки характеризувалися проміжними (відносно нормотоніків і симпатотоніків) значеннями кількості еритроцитів та вмісту гемоглобіну, тоді як показники гематокритної величини демонстрували більшу варіативність. Це може бути пов'язано з тим, що парасимпатична домінація, з одного боку, сприяє “економізації” функцій і зниженню частоти серцевих скорочень, а з іншого – може супроводжуватися коливаннями периферичного кровообігу та гідратації, що здатне впливати на величину гематокриту. Водночас відсутність суттєвих відмінностей за показником середнього об'єму еритроциту між групами вказує на те, що основні зміни стосуються переважно кількісних параметрів еритроцитарної маси та концентрації гемоглобіну, а не морфометричних характеристик еритроцитів.

Виявлені закономірності мають важливе біологічне та прикладне значення. Оскільки еритроцити, гемоглобін і гематокрит відображають потенціал кисневого забезпечення тканин, їх зміни залежно від типу автономної регуляції можуть бути використані як об'єктивні критерії оцінки метаболічного стану, рівня адаптаційного напруження та потенційної стресостійкості свиноматок. Це створює передумови для більш диференційованого підходу до годівлі, менеджменту утримання та профілактичних заходів, особливо у свиноматок із ознаками симпатичної домінації, у яких встановлено менш сприятливі показники еритроцитарної ланки.

Отже, результати досліджень підтверджують наявність взаємозв'язку між типом вегетативного тону та станом еритроцитарної ланки крові: найвищі показники кількості еритроцитів і рівня гемоглобіну характерні для нормотоніків, симпатотоніки мають тенденцію до зниження даних показників і гематокриту, тоді як ваготоніки займають проміжне місце. У подальшому ці дані є важливою основою для інтерпретації змін імунологічних показників та відтворювальної здатності свиноматок у зв'язку з автономною регуляцією.

Результати дослідження з вивчення впливу наноаквохелатів германію та заліза на морфологічні показники крові свиноматок вказують на те, що гематологічні показники свиноматок реагують на згодовування

наноаквохелатів германію та заліза неоднаково, а вираженість змін суттєво залежить також і від типу автономної регуляції. Це є закономірним, оскільки вегетативна нервова система визначає рівень адаптаційного напруження, характер нейроендокринної відповіді, інтенсивність мікроциркуляції та метаболічних процесів, що прямо впливає на стан гемопоезу і показники периферичної крові.

Найбільш виражені позитивні зрушення в еритроцитарній ланці (збільшення кількості еритроцитів, рівня гемоглобіну та гематокриту) встановлено у свиноматок-нормотоніків. Переважання ефекту саме у тварин із врівноваженим симпато-вагусним балансом можна пояснити впливом наноаквохелатів германію та заліза на організм тварин дослідної групи, який характеризується стабільнішим судинним тонусом, кращою тканинною перфузією та більш “економним” режимом регуляції, що у подальшому сприяє ефективнішому використанню компонентів, залучених у процеси еритропоезу та синтезу гемоглобіну. У симпатотоніків і ваготоніків еритроцитарна відповідь була слабшою, що може бути пов’язано з менш сприятливими регуляторними умовами: при симпатичній домінації – з високим рівнем напруження й централізацією кровообігу, при ваготонії – з особливостями периферичної гемодинаміки та повільнішими обмінними реакціями.

Кількість лейкоцитів у відповідь на наноаквохелати германію та заліза мала більш варіабельний характер, що відповідає високій чутливості лейкоцитарної ланки до адаптаційних процесів, перерозподілу клітин між депо та периферією, а також до нейрогуморальної регуляції. Збільшення кількості лейкоцитів, особливо на пізніших етапах дослідження, може відображати посилення неспецифічної резистентності та активацію захисних механізмів організму свиноматок дослідної групи. При цьому найвищі значення кількості лейкоцитів у ваготоніків можуть бути проявом типологічних особливостей їх реактивності та домінування парасимпатичних впливів, які здатні змінювати інтенсивність міграції та циркуляції імунокомпетентних клітин.

Збільшення рівня гемоглобіну та гематокритної величини в дослідних групах свиноматок узгоджується із загальною тенденцією до підвищення киснево-транспортного потенціалу крові. З фізіологічної точки зору це є важливим, оскільки супоросність супроводжується зростанням потреби в кисні та пластичних речовинах, а отже, підвищення рівня гемоглобіну та гематокриту може розглядатися як адаптивно-компенсаторна реакція, спрямована на покращення постачання киснем тканин матері та плодів. Найнижчі значення даних показників у симпатотоніків контрольних груп можуть відображати більший рівень функціонального напруження й менш сприятливий фон гемодинаміки та метаболізму, тоді як застосування наноаквохелатів германію та заліза частково компенсувало дані обмеження.

Показники еритроцитарних індексів (MCV, середній вміст/концентрація гемоглобіну в еритроциті) демонстрували переважно помірні зміни, що вказує про те, що основний ефект наноаквохелатів германію та заліза реалізовувався через кількісні характеристики еритроцитарної маси та гемоглобіноутворення, а не через суттєву перебудову морфометричних параметрів еритроцитів. Водночас підвищені значення RDW у дослідних групах можуть відображати активізацію процесів “оновлення” еритроцитарної популяції та певну гетерогенність клітинного складу, що характерно для станів, коли посилюється еритропоез або змінюється співвідношення молодих і зрілих еритроцитів. Переважання більш високого RDW у симпатотоніків може бути пов’язано з більшим регуляторним напруженням та менш стабільним перебігом адаптаційних реакцій.

Тромбоцитарна ланка реагувала на наноаквохелати неоднозначно: з одного боку, упродовж дослідів спостерігалось збільшення середнього об’єму тромбоцитів, що може вказувати про функціональну активацію та збільшення частки “молодих” форм; з іншого – кількість тромбоцитів у дослідних групах у ряді періодів мала тенденцію до зниження порівняно з контролем. Такі зрушення можуть відображати перебудову системи гемостазу та тромбоцитопоезу в умовах тривалої дії мікроелементів, а також типологічні

відмінності регуляції кровотворення та судинного тону. З урахуванням фізіологічного стану супоросності подібні зміни потребують комплексної інтерпретації разом із показниками імунітету та метаболізму, оскільки система гемостазу є чутливою до гормональної та вегетативної регуляції.

Аналіз отриманих даних дозволяє розглядати згодовування наноаквохелатів германію та заліза як чинник, що сприяє оптимізації морфологічного складу крові, підвищенню киснево-транспортних можливостей та підтриманню адаптаційних реакцій організму свиноматок. Найбільш сприятлива відповідь характерна для свиноматок-нормотоніків, тоді як у симпатотоніків і ваготоніків ефекти реалізуються менш виражено або мають вибірковий характер. Це підтверджує доцільність врахування типу вегетативного тону при оцінці ефективності коригувальних заходів, а також створює методологічне підґрунтя для подальшого аналізу взаємозв'язку між автономною регуляцією, імунологічними показниками та відтворювальною здатністю свиноматок.

При дослідженні показників імунної системи організму свиноматок встановлено, що згодовування наноаквохелатів германію та заліза дослідним тваринам позитивно впливає як на гуморальну, так і на клітинну ланку неспецифічної резистентності свиноматок, а характер і вираженість імунної відповіді суттєво залежать від типу вегетативного тону. Дані зміни узгоджуються з уявленнями про тісний зв'язок автономної нервової системи з нейроендокринною регуляцією та імунною реактивністю: симпатичні й парасимпатичні впливи визначають інтенсивність метаболічних процесів, мікроциркуляцію, міграцію лейкоцитів і функціональну активність фагоцитів, що відображається на показниках вродженого імунітету [40, 49].

За результатами проведеного аналізу встановлено, що застосування наноаквохелатів германію та заліза у свиноматок-симпатотоніків забезпечувало достовірне підвищення бактерицидної активності сироватки крові на всіх етапах експерименту. Для тварин дослідної групи були характерні нижча варіабельність показників, стабільність фізіологічних реакцій і наблизений до

нормального розподіл даних, що свідчить про позитивний вплив наноаквохелатів на неспецифічну резистентність та імунну реактивність організму. Порівняльна оцінка трьох груп тварин – нормотоніків, ваготоніків і симпатотоніків – дала змогу виявити чіткі відмінності у динаміці бактерицидної активності сироватки крові за впливу наноаквохелатів германію та заліза.

У тварин усіх типів вегетативної регуляції введення наноаквохелатів супроводжувалося зростанням БАСК відносно контролю, проте вираженість ефекту визначалася домінуванням відповідного відділу автономної нервової системи. Максимальні значення показника реєстрували у свиноматок із симпатотонічним типом, що, ймовірно, зумовлено підвищеним тонусом симпатичної ланки, активацією метаболізму, посиленням мікроциркуляції та мобілізацією енергетичних ресурсів. Свиноматки-ваготоніки характеризувалися помірним, але поступовим підвищенням БАСК, що вказує на повільнішу, проте більш тривалу активацію гуморальних механізмів природного захисту. Нормотоніки займали проміжне положення, демонструючи оптимальне поєднання стабільності та реактивності, що відображає фізіологічно збалансований тип нервової регуляції.

Показники лізоцимної активності сироватки крові мали чітку тенденцію до підвищення у дослідних групах, що підтверджує посилення одного з ключових механізмів антибактеріального захисту слизових і крові. Найвищий базальний рівень лізоциму у симпатотоніків та найнижчий — у ваготоніків відображає типологічні особливості нейрогуморальної регуляції. При цьому підвищення лізоцимної активності на 40 і 70 доби у всіх дослідних груп може вказувати про накопичувальний (адаптаційний) характер впливу наноаквохелатів і підвищення функціонального резерву гуморальної ланки неспецифічного імунітету в умовах супоросності.

Система комплементу належить до ключових ефektorних механізмів вродженого неспецифічного імунітету тварин і відіграє провідну роль у формуванні резистентності організму до дії інфекційних агентів. Дослідження комплементарної активності сироватки крові у свиноматок контрольних груп

показало, що її активність залежала від типу вегетативного тону. Так, у свиноматок-нормотоніків показники коливалися в межах 0,0396–0,0398 ум. од., у тварин із симпатотонічним типом регуляції — 0,0464–0,0470 ум. од., тоді як у свиноматок-ваготоніків вони були найнижчими і становили 0,0306–0,0310 ум. од.

Застосування наноаквохелатів германію та заліза свиноматкам дослідних груп супроводжувалося підвищенням комплементарної активності сироватки крові. Так, на 10-ту добу експерименту у нормотоніків дослідної групи рівень КАСК перевищував контрольні значення на 8,1%, у симпатотоніків – на 7,3%, тоді як у ваготоніків зростання становило 13,1% порівняно з відповідними контрольними показниками. На 40-ву добу дослідження відмічалося подальше, хоча й незначне, підвищення комплементарної активності відносно попереднього терміну спостереження. Водночас, порівняно з контролем, у свиноматок дослідних груп КАСК була вищою на 8,0% ($P<0,05$) у нормотоніків, на 11,1% ($P<0,05$) у симпатотоніків та на 16,1% ($P<0,01$) у ваготоніків. На 70-у добу експерименту збереження стимулювального ефекту наноаквохелатів проявлялося подальшим зростанням комплементарної активності сироватки крові, зокрема у свиноматок-нормотоніків – на 9,6% ($P<0,05$), а у тварин-ваготоніків – на 17,5% ($P<0,05$) відносно показників контрольних груп.

Зростання фагоцитарної активності та фагоцитарного індексу в дослідних групах є одним із найбільш інформативних результатів, оскільки відображає посилення клітинного компонента вродженого імунітету – здатності нейтрофілів/моноцитів до розпізнавання та елімінації чужорідних агентів. Найвища базальна фагоцитарна активність у симпатотоніків може пояснюватися мобілізаційним впливом симпатичної ланки (перерозподіл клітин у кров'яному руслі, підвищення готовності до швидкої відповіді). Водночас під впливом наноаквохелатів германію та заліза посилення фагоцитарної ланки спостерігалось у всіх дослідних групах, що підтверджує універсальний стимулюючий ефект наноформ мікроелементів на клітинні механізми

неспецифічного захисту. Зменшення стандартної помилки у ряді періодів у дослідних групах додатково вказує про більш «узгоджену» реакцію фагоцитів.

Зниження рівня циркулюючих імунних комплексів (ЦК) у тварин, яким згодували наноаквохелати, є важливим показником нормалізації імунного гомеостазу. Оскільки підвищення ЦК часто відображає напруження гуморальних імунних реакцій та накопичення продуктів антиген-антитільної взаємодії, їх зменшення можна трактувати як ознаку більш ефективної елімінації імунних комплексів та зниження «імунного навантаження» на організм у період супоросності. Виявлені міжгрупові відмінності (вищі ЦК у ваготоніків і нижчі у симпатотоніків) можуть вказувати на типологічні особливості імунокомплексоутворення.

Збільшення кількості В-лімфоцитів у дослідних групах на тлі наноаквохелатів вказує про стимуляцію гуморальної ланки специфічного імунітету та потенційне посилення антитілоутворення. Показово, що симпатотоніки мали найнижчі вихідні значення В-лімфоцитів, але демонстрували найбільш помітне зростання у досліді, що може відобразити коригувальний (нормалізуючий) ефект мікроелементів за умов підвищеного адаптаційного напруження. Для ваготоніків характерний найвищий базальний рівень В-клітин, а вплив наноаквохелатів проявлявся переважно як підтримання й помірне підсилення гуморальної реактивності.

Узагальнюючи, результати досліджень встановлено, що наноаквохелати германію та заліза сприяють підвищенню природної резистентності (через підвищення БАСК і лізоцимної активності, посилення фагоцитозу), оптимізують імунний гомеостаз (зниження ЦК) та підтримують гуморальну ланку специфічного імунітету (зростання кількості В-лімфоцитів). Вегетативний тонус визначає «профіль» та інтенсивність відповіді: симпатотоніки характеризуються вищою мобілізаційною реактивністю, ваготоніки – більш повільною, але стійкою імунною відповіддю, тоді як нормотоніки демонструють найбільш збалансований тип реагування. Практично це обґрунтовує доцільність врахування типу автономної регуляції

при застосуванні мікроелементних наноформ як засобів підвищення резистентності та підтримки імунної адаптації супоросних свиноматок.

Отримані результати вказують, що відтворювальна здатність свиноматок істотно залежить від типу вегетативного тону, а застосування наноаквохелатів германію та заліза має виражений модулювальний ефект на репродуктивні процеси незалежно від домінування того чи іншого відділу автономної нервової системи. Водночас ступінь реалізації позитивного впливу наноаквохелатів германію та заліза визначався вихідним типом вегетативної регуляції.

У свиноматок-ваготоніків, для яких характерна перевага парасимпатичних впливів і, відповідно, уповільнені адаптаційні реакції, застосування наноаквохелатів германію та заліза сприяло поступовому, але стабільному покращенню репродуктивних показників. Це проявлялося зниженням частки мертвонароджених поросят, зростанням багатоплідності, підвищенням збереженості молодняку та інтенсифікацією росту поросят у підсисний період. Вірогідне зростання молочності у даній групі можна розглядати як ключовий фактор оптимізації післяродового періоду та формування найсприятливіших умов для розвитку приплоду. Таким чином, наноаквохелати германію та заліза у ваготоніків виконували роль фізіологічних коректорів, що сприяли вирівнюванню репродуктивної функції за рахунок покращення обмінних і трофічних процесів.

Свиноматки-нормотоніки, які характеризуються збалансованим симпато-вагусним впливом, продемонстрували найвищу реактивність на застосування наноаквохелатів германію та заліза. У даній групі свиноматок відзначено найбільш виражене покращення практично всіх показників відтворювальної здатності – від зростання багатоплідності та маси гнізда при народженні до суттєвого підвищення збереженості поросят і їх інтенсивності росту. Високі показники молочності у поєднанні зі стабільними параметрами великоплідності вказують про оптимальний перебіг гестаційного та лактаційного періодів. Саме у нормотоніків було зафіксовано найвищі значення індексу відтворювальної

здатності, що підтверджує їх фізіологічно найсприятливіший тип автономної регуляції для реалізації біостимулювальної дії наноаквохелатів.

У свиноматок-симпатотоніків, для яких характерний підвищений тонус симпатичного відділу ВНС та більша схильність до стресових реакцій, застосування наноаквохелатів германію та заліза мало особливо важливе компенсаторне значення. Зменшення частки мертвонароджених поросят, істотне зростання збереженості молодняку та підвищення показників росту поросят вказує про зниження негативного впливу симпатичної домінації на репродуктивні процеси. Вірогідне зростання молочності у даній групі, ймовірно, пов'язане зі зменшенням метаболічного та нейроендокринного напруження організму свиноматок, що сприяло більш повноцінному забезпеченню приплоду поживними речовинами.

Порівняльний аналіз трьох типів вегетативного тонузу дозволяє дійти висновку, що найбільш повна реалізація відтворювального потенціалу за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза відбувається у свиноматок-нормотоніків, тоді як у ваготоніків і симпатотоніків біологічна дія досліджуваних сполук проявляється переважно через механізми корекції та нормалізації фізіологічних процесів. Це узгоджується з сучасними уявленнями про провідну роль автономної нервової системи у регуляції репродуктивної функції, енергетичного обміну та адаптаційних реакцій організму.

Таким чином, результати досліджень переконливо підтверджують, що застосування наноаквохелатів германію та заліза є ефективним інструментом підвищення відтворювальної здатності свиноматок, а їх ефективність значною мірою визначається типом вегетативної регуляції. Отримані дані мають важливе практичне значення для диференційованого підходу до використання біологічно активних добавок у промисловому свинарстві з урахуванням індивідуальних нейровегетативних особливостей тварин.

Виявлені позитивні зміни гематологічних, імунологічних та відтворювальних показників свиноматок за умов застосування наноаквохелатів германію та заліза зумовлені комплексною біологічною дією даних

мікроелементів, що реалізується на клітинному, тканинному та системному рівнях регуляції.

Синергічна дія германію та заліза у формі наноаквохелатів забезпечує одночасний вплив на енергетичний обмін, імунну реактивність, стан кровотворної системи та нейровегетативну регуляцію, що в сукупності створює сприятливі умови для реалізації відтворювального потенціалу свиноматок. Найбільш виражений ефект спостерігався у свиноматок із нормотонічним типом вегетативної регуляції, тоді як у симпатотоніків і ваготоніків дія наноаквохелатів проявлялася через механізми корекції та нормалізації порушених регуляторних ланок.

Отримані результати дають підстави вважати наноаквохелати германію та заліза перспективними біологічно активними чинниками, здатними модулювати адаптаційні, імунні та репродуктивні процеси у свиноматок з різними типами вегетативного тонусу..

ВИСНОВКИ

У дисертації відповідно до поставленої мети та завдань досліджень отримано нові наукові дані щодо впливу автономної нервової системи на резистентність і продуктивність свиноматок за застосування наноаквохелатів германію та заліза. Доведено тісний взаємозв'язок типів вищої нервової діяльності з рівнем резистентності та продуктивністю тварин. Експериментально обґрунтовано застосування наноаквохелатів германію та заліза у свинарстві

1. Вміст гемоглобіну у нормотоніків досягав максимальних значень на 40 і 70-ту доби, порівняно з контролем та зростав на 16,6 і 18,8% відповідно. Гематокрит – у дослідних групах відмічається його зростання до 39,34 у нормотоніків, 36,83 у симпатотоніків і 36,94% у ваготоніків, що свідчить про стимуляцію еритропоезу.

2. Найбільш виражене підвищення середньої концентрації гемоглобіну в еритроцитах відмічено у нормотоніків та симпатотоніків, особливо на 70-ту добу, де порівняно з контролем даний показник зріс на 8,4% і 9,9%. Ширина розподілу еритроцитів у сироватці крові свиноматок-нормотоніків зросла до 18,76%, у симпатотоніків – до 19,21%, ваготоніків – до 18,46%.

3. Показники бактерицидної активності сироватки крові зростали у всіх типів автономної регуляції. Найбільш виражене зростання відмічено у симпатотоніків, особливо на 70-ту добу, де порівняно з контролем даний показник зріс до 65,16%.

4. Лізоцимна активності, у дослідних групах зростала порівняно з контролем, у нормотоніків – до 50,9%, у симпатотоніків – до 54,42%, у ваготоніків до 48,8%. Визначено, що у дослідних групах відбувається підвищення комплементарної активності у всіх типів автономної регуляції. Найбільш виражене зростання спостерігається у симпатотоніків, особливо на 40- та 70-ту добу, відповідно на 11,1 і 11,2%.

5. Найвищі значення фагоцитарної активності відмічаються у симпатотоніків на 40 і 70-тк доби – 50,88 і 51,29%. Найбільш виражене

зростання характерне для симпатотоніків і нормотоніків відповідно на 8,3 і 10,9% порівняно з контрольними групами, що свідчить про активацію клітинної ланки імунітету. Найнижчий рівень циркулюючих імунних комплексів був у свиноматок-симпатотоніків на 70 добу, де порівняно з контролем він знизився на 7,4%. На 70 добу досліду кількість В-лімфоцитів у крові свиноматок нормотоніків збільшилася до 38,4, тоді як у ваготоніків – до 39,6%. Найнижчою кількістю В-лімфоцитів була у сиоватці крові свиноматок-симпатотоніків – 33%.

6. У свиноматок-ваготоніків дослідної групи, індекс відтворювальної здатності підвищився з 43,52 до 46,28 балів. Аналогічно відмічалось покращення репродуктивних функцій у свиноматок нормотоніків та симпатотоніків, у яких індекс відтворюваної здатності зріс з 44.91 до 47.74 балів та 42.65 до 45,94 балів відповідно.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У промисловому свинарстві доцільно проводити оцінку функціонального стану автономної нервової системи свиноматок шляхом аналізу показників варіабельності серцевого ритму (індексу напруги, індексу автономної рівноваги, амплітуди моди) для визначення типу вегетативного тону (нормотонічний, ваготонічний, симпатотонічний) та прогнозування рівня природної резистентності й відтворної здатності тварин.

2. Для підвищення неспецифічної резистентності організму, оптимізації морфологічних та імунобіологічних показників крові свиноматок у період поросності та лактації рекомендується застосовувати наноаквахелати заліза та германію у складі раціону відповідно до розробленої схеми годівлі.

3. Матеріали дисертаційної роботи доцільно впроваджувати у навчальний процес закладів вищої освіти ветеринарного профілю під час викладання дисциплін «Фізіологія тварин», «Ветеринарна імунологія», «Клінічна діагностика» та «Годівля сільськогосподарських тварин».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабінець Л. С., Редьква О. В. Аналіз взаємозв'язків параметрів автономної нервової системи і клінічного перебігу цукрового діабету 2 типу у поєднанні із хронічним панкреатитом. Східноєвропейський журнал внутрішньої та сімейної медицини. 2025. № 1. С. 91-95.
2. Бабінець Л. С., Редьква О. В. Взаємозв'язки функціональної спроможності підшлункової залози і автономної нервової системи при цукровому діабеті 2-го типу в коморбідності з хронічним панкреатитом. Вісник Клубу панкреатологів. 2025. № 2. С. 45-51.
3. Березовський Р. З., Максимович І. Я., Влізло В. В. Кількість еритроцитів та співвідношення їх різновікових популяцій у крові поросят за дії залізо цитрату. Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і Державного науково-дослідного контрольного інституту ветпрепаратів та кормових добавок. 2014. Вип. 15, № 2-3. С. 11-16.
4. Білецька Е. М., Чекман І. С., Онул Н. М., Каплуненко В. Г., Стусь В. П. Біопротекторна дія цинку в макро- і наноаквахелатній формі на ембріогенез щурів за умови свинцевої інтоксикації. Медичні перспективи. 2013. Т. 18, № 2. С. 114-119.
5. Білецька Е. М., Калінічева В. В. Порівняльна оцінка рівнів остеоасоційованого мікроелементу міді у кістковій тканині за умов впливу свинцю в макро- та наноаквахелатній формі на тварин в експериментальних умовах. Український журнал медицини, біології та спорту. 2017. № 5. С. 116-119.
6. Бобрицька О. М., Югай К. Д., Карповський В. І. Біорезонансний метод корекції функціонального стану автономної нервової системи у собак Наукові доповіді. Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. № 5. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2018_5_27
7. Бойчук Б. І., Карповський В. І., Грищук І. А., Карповський В. В., Грищук А. В. Вміст насичених жирних кислот в плазмі крові кіз в залежності

від тонусу автономної нервової системи. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2023. № 6. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2023_6_23

8. Бойчук Б. І., Карповський В. І., Грищук І. А., Томчук В. А., Грищук А. В., Гутий Б. В., Карповський В. В. Визначення варіабельності серцевого ритму як показника впливу тонусу автономної нервової системи в кіз. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2023. Т. 25, № 111. С. 28-32.

9. Борисевич Б. В., Лісова В. В., Деркач І. М., Деркач С. С., Духницький В. Б., Тишківська А. М. Мікроскопічні зміни у печінці та серці перепелів за експериментального токсикозу клатрохелатом залізоу(IV). Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2021. Вип. 22, № 2. С. 71-87.

10. Броч О. І., Синетар Е. О., Каплуненко В. Г. Перспективи застосування наноаквахелатів металів. Досягнення біології та медицини. 2015. № 2. С. 64-66.

11. Вербельчук Т. В., Вербельчук С. П., Ковальчук І. І., Ковальчук І. В., Васильєв Р. О., Клим В. Р. Баланс залізоу та міді в організмі свиней при використанні нетрадиційних природних добавок. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Тваринництво. 2021. Вип. 2. С. 77-82.

12. Влізло В. В., Федорук Р. С., Ратич І. Б. та ін. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині: довідник. За ред. В. В. Влізла. Львів: Сполом, 2012. 764 с.

13. Волошина Н. О. Ефективність застосування наноаквахелатів магнію для дезінвазії осередків паразитарного забруднення. Біологія тварин. 2012. Т. 14, № 1-2. С. 370-376.

14. Галат М. В., Галат В. Ф. Ефективність наноаквахелатів за токсоплазмозу кіз. Ветеринарна медицина. 2013. Вип. 97. С. 376-377.
15. Гальперін О. І., Руденко К. О., Придиус І. О., Каплуненко А. М., Фролова Г. М. Значення мікроелементів церію та германію для підтримки морфо-функціонального статусу організму. Вісник проблем біології і медицини. 2019. Вип. 1(2). С. 24-29.
16. Гладишко В. І., Кладницька Л. В. Умовно-рефлекторна діяльність за виконання дисциплін кінного спорту кіньми української верхової породи залежно від тонусу автономної нервової системи. Біологія тварин. 2019. Т. 21, № 3. С. 106.
17. Гладишко В. І., Кладницька Л. В. Умовно-рефлекторна діяльність коней української верхової породи з різним тонусом автономної нервової системи. Біологія тварин. 2020. Т. 22, № 4. С. 45
18. Говда Р. В. Структурні зміни плечових кісток адаптованих до позаклітинного зневоднення щурів з різним типом автономної нервової системи при важкій позаклітинній дегідратації організму. Вісник морфології. 2013. Т. 19, № 1. С. 88-92
19. Григорова Н. В. Розподіл цинку, магнію та міді в гранулоцитах і сироватці крові кролів при введенні речовин, які змінюють функціональний стан кори надниркових залоз і автономної нервової системи. Фізіологічний журнал. 2015. Т. 61, № 2. С. 34-39.
20. Грищук І. А., Карповський В. І., Постой Р. В., Криворучко Д. І. Вплив тонусу автономної нервової системи на вміст насичених жирних кислот у ліпідах крові у зимовий та літній період. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2022. № 6. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2022_6_12
21. Гутий Б.В., Мартиник Т.В., Халак В.І., Зезекало М.А., Омельченко О.В., Тодорюк В.Б., Химинець П.С., Вислотська Л.В., Вус Ю.М., Присяжнюк В.Я.: «Вплив кормової добавки «Силемевіт» на індикатор імунної системи

поросят при відлучці». Львів, 15-16.05.2023., Науковий вісник ЛНУВМтаБТ імені С.З.Гжицького, с 104.

22. Данчук В. В., Приступа Т. І. Кількість еритроцитів та вміст гемоглобіну у крові поросят-сисунів при введенні наноаквахелатів Заліза. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Ветеринарна медицина. 2015. Вип. 7. С. 168-170.

23. Демус Н. В. Вікова динамка живої маси і промірів тіла теличок залежно від індивідуальних особливостей автономної нервової системи. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2014. Т. 16, № 2(2). С. 93-100.

24. Деркач Є. А., Шепельова І. А., Моторнюк А. В., Мельникова Н. М. Вплив наноаквахелатів і макродисперсної форми Купруму на концентрацію церулоплазміну в крові кролів. Біологія тварин. 2012. Т. 14, № 1-2. С. 80-84.

25. Деркач І. М., Духницький В. Б., Деркач С. С., Фрицький О. І., Плутенко М. О., Лозовий В. М. Вплив клатрохелату Залізоу(IV) на вміст церулоплазміну в сироватці крові поросят. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Ветеринарна медицина. 2021. Вип. 2. С. 26-32.

26. Деркач І. М., Духницький В. Б., Деркач С. С., Лозовий В. М., Коструб В. В., Лоза Ю. В., Мідик С. В., Морозова В. С., Ушкалов В. О., Фрицький І. О. Вплив клатрохелату Залізоу(IV) на вміст залізоу у деяких внутрішніх органах поросят. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 4. С. 188-194.

27. Деркач І. М. Вплив клатрохелату Залізоу(IV) на динаміку біохімічних показників сироватки крові поросят. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 3. С. 186-193.

28. Деркач І. М. Порівняльна ефективність залізоовмісних лікарських засобів за профілактики залізодефіцитної анемії поросят. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2021. Т. 23, № 102. С. 66-71.

29. Деркач І. М. Сучасні тенденції на вітчизняному ринку залізовмісних препаратів для тварин [Електронний ресурс] / І. М. Деркач // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. - 2017. - Т. 19, № 78. - С. 23-25.

30. Деркач І. М., Деркач С. С., Сотніченко І. О. Залізо у складі кормових добавок, готових кормів та преміксів на фармацевтичному ринку в Україні. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2018. Т. 20, № 83. С. 290-294.

31. Дробот М. В. Показники крові хворих на неспецифічну катаральну бронхопневмонію телят при застосуванні наноаквахелатів макро- і мікроелементів та ехінацеї. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2011. Т. 13, № 4(1). С. 105-109.

32. Духницький В. Б., Деркач І. М., Деркач С. С., Лозовий В. М., Коструб В. В., Лоза Ю. В., Фрицький І. О., Плутенко М. О. Білковий спектр сироватки крові поросят за впливу препаратів Заліза. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 1. С. 250-255.

33. Духницький В. Б., Деркач І. М., Деркач С. С., Фрицький І. О., Плутенко М. О., Лозовий В. М., Коструб В. В., Лоза Ю. В. Дослідження протианемічної дії клатрохелату Залізоу (IV) на поросятах. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2020. Т. 22, № 99. С. 107-115.

34. Духницький В. Б., Деркач С. С. Імунний статус поросят за застосування клатрохелату Залізоу(IV) вагітним свиноматкам. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2021. Т. 23, № 103. С. 35-42.

35. Духницький В. Б., Деркач І. М., Деркач С. С., Фрицький І. О., Плутенко М. О. Протианемічна дія препаратів залізоу у поросят. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Ветеринарна медицина. 2020. Вип. 4. С. 46-51

36. Духницький В. Б., Деркач І. М., Деркач С. С., Фрицький І. О., Плутенко М. О., Лозовий В. М., Коструб В. В., Лоза Ю. В., Гусак А. О. Уміст гемоглобіну, гематокритна величина та морфологічні показники крові поросят за впливу препаратів Феруму. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2021. Т. 23, № 101. С. 8-14.

37. Ємельяненко А. А., Шмаюн С. С., Ніщеменко М. П., Ємельяненко О. В., Порошинська О. А., Стовбецька Л. С., Козій В. І. Вплив комплексу наноаквахелатів селену і германію на гуморальний імунітет в організмі перепелів. Науковий вісник ветеринарної медицини. 2020. Вип. 1. С. 88-95.

38. Ємельяненко А. А., Шмаюн С. С., Ніщеменко М. П., Ємельяненко О. В., Порошинська О. А., Стовбецька Л. С., Козій В. І. Вплив комплексу наноаквахелатів селену і германію на гуморальний імунітет в організмі перепелів. Науковий вісник ветеринарної медицини. 2020. Вип. 1. С. 88-95

39. Журенко Є. В., Карповський В. І., Данчук О. В., Гудзь Н. В. Взаємозв'язок вмісту Купруму в крові з різним тонусом автономної нервової системи. Ветеринарна біотехнологія. 2019. Вип. 35. С. 53-62.

40. Журенко О. В., Карповський В. І., Журенко В. В. Взаємозв'язок тонуру автономної нервової системи у крові з вмістом купруму в крові залежно від пори року. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2020. № 5. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2020_5_16

41. Журенко О. В., Карповський В. І., Данчук О. В., Кравченко-Довга Ю. В. Вміст кальцію і фосфору в крові з різним тонусом автономної нервової системи. Науковий вісник Львівського національного університету

ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2018. Т. 20, № 92. С. 8-12

42. Журенко О. В., Карповський В. І., Данчук О. В., Трокоз В. О., Криворучко Д. І. Залежність вмісту магнію в крові від пори року та тонусу автономної нервової системи. *Ukrainian journal of veterinary sciences*. 2019. Vol. 10, № 1. С. 38-43.

43. Журенко О. В., Карповський В. І., Данчук О. В., Криворучко Д. І. Кортикальні механізми регуляції вмісту Залізоу в крові залежно від пори року. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки*. 2018. Т. 20, № 83. С. 330-333.

44. Запека І. Є., Яценко І. В. Біохімічні показники крові поросят за колієнтеротоксемії на фоні надлишку Купруму, Залізоу та Кобальту у кормах. *Ветеринарія, технології тваринництва та природокористування*. 2018. № 1. С. 17-22.

45. Зінко Г. О., Слівінська Л. Г. Вплив препаратів Селену та Германію на окремі ланки патогенезу гастроентериту у телят. *Біологія тварин*. 2015. Т. 17, № 2. С. 57-64.

46. Казакова-Назаркевич М. М. Особливості автономної нервової системи кролів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*. 2015. Т. 17, № 1(2). С. 63-69.

47. Калашнікова Ю. В. Клінічне дослідження дії мазі наносепт на основі наноаквахелатів Ag, Cu та J при піодермії в собак. *Ветеринарна медицина України*. 2014. № 9. С. 30-31.

48. Калашнікова Ю. В. Лікування хворих на поверхневу піодермію собак наноаквахелатами металів. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 1. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2015_1_17

49. Карповський В. І., Трокоз В. О., Карповський П. В., Криворучко Д. І., Постой Р. В. Вплив тонусу автономної нервової системи свиней на бактерицидну та лізоцимну активність сироватки крові. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: : Ветеринарні науки. 2016. Т. 18, № 1(2). С. 69-73.

50. Карповський В. І., Криворучко Д. І., Карповський П. В. Морфологічні показники крові свиней з різним тонусом автономної нервової системи за умов згодовування наноаквахелатів біогенних металів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва. 2013. Вип. 188(1). С. 173-177.

51. Карповський В. І., Криворучко Д. І., Карповський П. В. Морфологічні показники крові свиней з різним тонусом автономної нервової системи за умов згодовування наноаквахелатів біогенних металів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва. 2013. Вип. 188(1). С. 173-177.

52. Карповський В.І, Химинець П.С.: «Фагоцитарна активність свиноматок з різним типом вегетативної регуляції за дії наноакдохелатів Заліза та Германію».

53. Карповський В.І., Журенко О.В., Химинець П.С., Клавчук С.В.: «Вплив наноакдохелатів германію та залізоу на морфологічні показники крові свиноматок з різним тонусом автономної нервової системи». «Актуальні питання ветеринарної медицини», ст. 76.

54. Карповський В.І., Химинець П.С. : «Кореляційні взаємозв'язки між бактерицидною активністю сироватки та вегетативною регуляцією серцевого ритму у свиноматок різного типу вегетативного тонусу за дії наноакдохелатів Германію та Залізоу».

55. Карповський В.І., Химинець П.С.: «Морфологічні індикатори крові свиноматок при різному тонусі автономної нервової системи». Міжнародна наукова конференція: «Наукові досягнення сучасного суспільства», Лондон 29-31.05.25.

56. Карповський П. В., Карповський В. В., Ландсман А. О., Скрипкіна В. М., Щербаков С. М., Постой Р. В., Трокоз А. В., Криворучко Д. І., Трокоз В. О., Карповський В. І. Взаємозв'язок показників вищої нервової діяльності і тонусу автономної нервової системи у свиней. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2014. Т. 16, № 3(2). С. 134-140.

57. Карповський П. В., Постой Р. В., Криворучко Д. І., Трокоз В. О., Томчук В. А., Карповський В. В., Ландсман А. О., Карповський В. І., Каплуненко В. Г. Вплив "Мікростимуліну" на гематологічні показники та продуктивність крові з різним тонузом автономної нервової системи. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Ветеринарна медицина. 2014. Вип. 6. С. 14-17.

58. Карповський П. В., Постой Р. В., Криворучко Д. І., Карповський В. І., Трокоз В. О., Данчук О. В., Ландсман А. О., Шестеринська В. В., Васильєв А. П. Деякі показники обміну вуглеводів в сироватці крові свиней з різним тонузом автономної нервової системи. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2013. Т. 15, № 3(2). С. 101-105.

59. Кобилуох І. Б., Стравський Я. С., Резніченко Л. С. Вплив супозиторіїв із вмістом наночастинок феруму на гуморальну ланку імунної системи організму крові. Ветеринарна біотехнологія. 2017. Вип. 30. С. 101-106.

60. Коваленко Л. В. Порівняльне вивчення впливу наноаквахелатів германію та селену на активність процесів ліпопероксидації в організмі птиці. Ветеринарна медицина. 2012. Вип. 96. С. 292-294.

61. Коваленко Л. В. Порівняльне вивчення впливу наноаквахелатів германію та селену на активність процесів ліпопероксидації в організмі птиці. Ветеринарна медицина. 2012. Вип. 96. С. 292-294.

62. Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Химинець П. С., Гутий Б. В., Криворучко Д. І., Карповський В. В. Вплив наносполук Залізоу та Германію на вміст церулоплазміну в крові свиноматок і отриманих від них поросят. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2023. Т. 25, № 112. С. 201-205.

63. Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Химинець П. С., Гутий Б. В., Криворучко Д. І., Карповський В. В. Вплив наносполук Залізоу та Германію на вміст церулоплазміну в крові свиноматок і отриманих від них поросят. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2023. Т. 25, № 112. С. 201-205

64. Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Кравчук С. В., Карповський В. В. Показники ліпідного обміну в крові свиноматок за дії наносполук феруму та германію. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2024. № 2. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2024_2_20

65. Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Карповський В. В. Стан еритропоезу в організмі поросят за дії наносполук феруму та германію. Scientific Progress & Innovations. 2024. Vol. 27, No. 3. С. 55–59.

66. Ковальчук О.О., Томчук В.А., Данчук В.О., **Химинець П.С.**, Гутий Б.В., Криворучко Д.І., Карповський В.В. Вплив наносполук залізоу та германію на вміст церулоплазміну в крові свиноматок і отриманих від них поросят. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2023. Т. 25, № 112. С. 201-205

67. Ковальчук О.О., Томчук В.А., Данчук В.О., Химинець П.С., Гутий Б.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Нагорець Р.В., Греля Р.В.

Антиоксидантний та енергетичний статус поросят у ранній постнатальний період за задавання свиноматкам хелатів феруму і германію. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2026. Т 28, № 121. С. 31-36.

68. Кондрацька О. А., Грушка Н. Г., Каплуненко В. Г., Павлович С. І., Срібна В. О., Янчій Р. І. Протективний ефект цитрату германію при ендотоксин-індукованій оваріальній дисфункції в мишей. Медичні перспективи. 2018. Т. 23, № 1(1). С. 71-77.

69. Кравчук С.В., Тодорюк В.Б., **Химинець П.С.**, Грищук І.А., Ільчишин М.М., Журенко О.В., Карповський В.І.: «Визначення варіабельності серцевого ритму як показника впливу тонусу автономної нервової системи у свиней». Міжнародна науково-практична конференція: «Актуальні проблеми фізіології тварин».

70. Криворучко Д. І. Обмін речовин і продуктивність крові за різного тонусу автономної нервової системи. Аграрний вісник Причорномор'я. Біологічні науки. 2013. Вип. 70. С. 78-83.

71. Кропивка С. Й., Хомин М. М. Фізіолого-біохімічні процеси в організмі крові у період випоювання наноаквахелатних розчинів деяких мікроелементів. Біологія тварин. 2016. Т. 18, № 3. С. 156.

72. Кулдонашвілі К. В., Шеремета В. І., Каплуненко В. Г. Дія наноаквахелат германію на ріст поросят у пренатальний період. Розведення і генетика тварин. 2016. Вип. 51. С. 261-266.

73. Кулдонашвілі К. В., Шеремета В. І., Каплуненко В. Г. Дія наноаквахелат германію на ріст поросят у пренатальний період. Розведення і генетика тварин. 2016. Вип. 51. С. 261-266.

74. Куліда М. Лікування собак з гнійними отитами антибіотиками та наноаквахелатами металів. Тваринництво України. 2015. № 10. С. 27-30.

75. Кучер Т. В. Зміни рівня фізичного здоров'я студентів залежно від переважання типу автономної нервової системи. Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві. 2013. № 1. С. 174-180.

76. Левченко, В. І., Влізло, В. В., Кондрахін, І. П. та ін. Ветеринарна клінічна біохімія. Біла Церква: БДАУ. 2002. 399 с.
77. Максимович І. Я., Березовський Р. З. Окремі показники забезпеченості новонароджених поросят Залізом за дії залізо цитрату. Біологія тварин. 2014. Т. 16, № 4. С. 197.
78. Милостива Д. Ф. Вплив цитрату германію на захисну антиоксидантну систему організму щурів. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2017. Вип. 18, № 2. С. 34-37
79. Нефьодов О. О., Білишко Д. В., Земляний О. А., Шаторна В. Ф., Демиденко Ю. В., Мальчугін Р. К., Мірошніченко М. Е. Модифікуючий вплив цитрату селену та цитрату германію на ембріотоксичність солей кадмію при комбінованому введенні у щурів. Український журнал медицини, біології та спорту. 2019. Т. 4, № 4. С. 45-50.
80. Нефьодова О. О., Білишко Д. В. Ембріогенез щурів під впливом цитрату кадмію при ізольованому введенні та в комбінації з цитратом германію. Український журнал медицини, біології та спорту. 2018. Т. 3, № 6. С. 41-45.
81. Ніженковська І. В., Нароха В. П., Бакун А. В., Брюзгіна Т. С. Дослідження впливу координаційних сполук германію з нікотиною та оксиетилидендифосфоновою кислотами на жирнокислотний спектр ліпідів сироватки крові. ScienceRise. Pharmaceutical Science. 2017. № 1. С. 32-35.
82. Ніщеменко М. П., Омельчук О. В., Емельяненко А. А., Порошинська О. А., Стовбецька Л. С., Козій В. І. Вплив наноаквахелатів металів цинку і селену на яєчну продуктивність та деякі показники якості яєць курей несучок Аграрний вісник Причорномор'я. Ветеринарні науки. 2019. Вип. 93. С. 188-194.
83. Оробченко О. Л. Токсикокінетика купруму, залізоу та мангану в організмі добових курчат за умов введення курям-несучкам з кормом

нанокомпозиту (Ag, Cu, Fe, двоокис Mn). Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Ветеринарна медицина. 2016. Вип. 6. С. 193-197.

84. Панасюк Я. В., Корда М. М. Біохімічна характеристика посттравматичного репаративного остеогенезу при застосуванні наноаквахелатів металів. Літопис травматології та ортопедії. 2015. № 1-2. С. 19-21

85. Панасюк Я. В., Волков К. С., Корда М. М. Використання комбінації наноаквахелатів металів і наночастинок ловастатину для стимуляції репаративного остеогенезу в щурів. Клінічна та експериментальна патологія. 2016. Т. 15, № 5(2). С. 53-59.

86. Полстяной А. О. Сучасні наукові погляди на склад та будову автономної нервової системи (огляд літератури). Український журнал медицини, біології та спорту. 2022. Т. 7, № 2. С. 34-39.

87. Постой Р., Карповський В., Данчук О., Криворучко Д. Активність α -амілази в крові свиноматок залежно від тонусу автономної нервової системи. Біологія тварин. 2019. Т. 21, № 3. С. 144.

88. Рабченюк О. О., Хоменчук В. О., Сенік Ю. І., Курант В. З. Ліпідний обмін в організмі коропа і шуки за дії йонів феруму (III). Гидробиологический журнал. 2018. Т. 54, № 5. С. 71-80.

89. Рабченюк О. О., Хоменчук В. О., Станіславчук А. В., Згурська С. Б., Курант В. З. Особливості вільнорадикальних процесів у риб за впливу підвищених концентрацій іонів заліза у воді. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. 2018. № 3-4. С. 38-46.

90. Ромазан І. В., Турко І. Б. Вплив дослідної композиції дезасобу на основі полігексаметиленгуанідину та наноаквахелатів металів на тест-культури мікроорганізмів. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2023. Т. 25, № 112. С. 239-245.

91. Синетар Е. О., Брич О. І., Каплуненко В. Г., Колесніков М. М. Вплив наноаквахелатів металів на біологічні властивості *pseudomonas aeruginosa*. Збірник наукових праць співробітників НМАПО ім. П. Л. Шупика. 2013. Вип. 22(2). С. 356-362.
92. Скрипкіна В. М., Карповський В. І., Данчук О. В., Постой Р. В., Криворучко Д. І., Українець М. А. Активність та збалансованість ферментативної системи антиоксидантного захисту в організмі свиней із різним тонусом автономної нервової системи. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: : Ветеринарні науки. 2016. Т. 18, № 1(2). С. 145-149.
93. Соболев О. І., Гутий Б. В., Мельниченко О. М., Соболева С. В., Кузьменко П. І., Мельниченко Ю. О., Попадюк С. С., Сенечин В. В. Германій: розповсюдження, міграція та накопичення у природному середовищі. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки. 2023. Т. 25, № 99. С. 226-236.
94. Соболев О. І., Лютка Г. І. Забійні та м'ясні якості гусенят за різного рівня германію в комбікормах. Аграрна наука та харчові технології. 2018. Вип. 3. С. 131-142.
95. Стефаник В. Ю., Стравський Я. С., Кобиліух І. Б. Супозиторії із вмістом наночастинок залізоу в корекції антиоксидантного захисту організму крові після отелу. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Ветеринарні науки. 2017. Т. 19, № 82. С. 201-204.
96. Стравський Я. С., Федонюк Л. Я., Ярема О. М., Скиба О. І., Резніченко Л. С. Доклінічне дослідження наночастинок феруму. Медична та клінічна хімія. 2020. Т. 22, № 4. С. 17-24.
97. Студенок А. А., Шнуренко Е. О., Трокоз В. О., Каповський В. І. Вміст валіну та гліцину у сироватці крові курей з різним тонусом автономної нервової системи. Біологія тварин. 2020. Т. 22, № 4. С. 107.

98. Студенок А., Шнуренко Е., Коновал О., Савченко І., Трокоз В. Визначення тонусу автономної нервової системи в курей м'ясного спрямування. Біологія тварин. 2019. Т. 21, № 3. С. 155.
99. Студенок А., Солодовніков В., Гранат О., Трокоз В. Вікові коливання показників обміну протеїну в курей з різним тонусом автономної нервової системи. Біологія тварин. 2019. Т. 21, № 3. С. 154.
100. Телятніков А. В. Вивчення місцево-подразнюючого впливу наноаквахелатів металів на шкіру та слизові оболонки кроликів. Ветеринарна медицина. 2011. Вип. 95. С. 412-414.
101. Телятніков А. В. Способи застосування наноаквахелатів металів в лікуванні закритих переломів кісток у собак. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. 2011. № 23(2.2). С. 428-6-428.
102. Тесарівська У. І. Етологічні реакції самиць і самців щурів F2 після відлучення за впливу різних доз германію цитрату. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2020. Вип. 21, № 1. С. 228-234.
103. Тибінка А. М. Зв'язок кількості ядерних нуклеїнових кислот в стовпчастих епітеліоцитах кишечника курей з різним типом автономної нервової системи. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2010. Т. 12, № 3(2). С. 148-152.
104. Тодорюк В. Б., Карповський В. І., Журенко О. В., Криворучко Д. І., Журенко В. В., Кравчук С. В., Химинець П. С. Варіаційно-пульсометричне дослідження тонусу автономної нервової системи у свиней. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2023. № 6. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2023_6_20
105. Тодорюк В. Б., Гунчак В. М. Вплив ферровету 7,5 % і фероселу Т на стан імунної системи хворих поросят за латентної залізодефіцитної анемії.

Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2015. Т. 17, № 2. С. 240-246.

106. Тодорюк В. Б., Гутий Б. В., Хомик Р. І., Васів Р. О. Вплив ферровету 7,5 % і фероселу Т на концентрацію мінеральних речовин в сироватці крові поросят, хворих на залізодефіцитну анемію. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: : Ветеринарні науки. 2016. Т. 18, № 3(71). С. 139-143.

107. Тодорюк В.Б., Журенко О.В., Криворучко Д.І., Журенко В.В., Кравчук С.В., Химинець П.С.: «Варіаційно-пульсометричне дослідження тонусу автономної нервової системи у свиней».

108. Токарчук Т. С. Вміст Залізоу та Купруму в сироватці крові поросят за використання вітаміну Е та комплексу мікроелементів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2016. Вип. 250. С. 34-42.

109. Трокоз В. О., Студенок А. А., Данчук О. В. Вплив тонусу автономної нервової системи на активність системи антиоксидантного захисту у організмі свиней. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва. 2017. Вип. 273. С. 191-198.

110. Федорук Р. С., Ковальчук І. І., Романів Л. І., Храбко М. І. Вплив цитратів германію та селену на вміст ліпідів і важких металів в організмі медоносних бджіл. Біологія тварин. 2014. Т. 16, № 2. С. 141-149.

111. Федорук Р. С., Храбко М. І. Динаміка маси тіла і репродуктивна функція самок щурів та життєздатність приплоду за випоювання різних кількостей цитрату германію. Біологія тварин. 2015. Т. 17, № 3. С. 214.

112. Федорук Р. С. Сполуки Германію та їхня роль в організмі тварин / Р. С. Федорук, І. І. Ковальчук, Л. М. Мезенцева, У. І. Тесарівська, А. З. Пилипець, В. Г. Каплуненко. Біологія тварин. 2022. Т. 24, № 1. С. 50-60.

113. Фекета В. П., Райко О. Ю., Ківежді К. Б., Савка Ю. М., Цяпець Г. Б., Цяпець С. В. Функціональний стан автономної нервової системи у здорових осіб з різним співвідношенням жирової та м'язової тканин. Здобутки клінічної і експериментальної медицини. 2013. № 2. С. 287-298.

114. Химинець П.С., Грищук А.В., Греля Р.В., Нагорець Р.В., Гутий Б.В., Грищук І.А, Калінін І.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Журенко О.В., Карповський В.І.: «Зміна бактерицидної активності сироватки крові свиней за використання наноаквахелатів з урахуванням вегетативної регуляції».

115. Химинець П.С., Греля Р.В., Грищук І.А., Гутий Б.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Грищук А.В., Журенко О.В., Карповський В.І., Голопура С.І., Тодорюк В.Б. Вплив вегетативної регуляції на гематологічні показники у свиней. Науковий вісник ЛНУВМтаБТ імені С.З.Гжицького. 2025. т 27, № 117. С. 44-49.

116. Хоменчук В. О., Рабченюк О. О., Футрик В. В., Курант В. З. Особливості осмотичної резистентності еритроцитів та вмісту гемоглобіну у крові риб за дії феруму (III). Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. 2020. № 1-2. С. 62-67.

117. Хомин М. М., Кропивка С. Й., Олексюк Н. П. Вплив наноаквахелатних розчинів мікроелементів на організм крові і біологічну цінність молока. Біологія тварин. 2016. Т. 18, № 3. С. 197.

118. Хомин М. М., Федорук Р. С., Храбко М. І., Кропивка С. Й. Вплив наноаквахелату йоду на біохімічні показники молока та молочну продуктивність крові у перші місяці лактації. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2015. Т. 17, № 1(3). С. 243-249.

119. Храбко М. І., Федорук Р. С., Цап М. М., Денис Г. Г. Вміст мікроелементів у тканинах вагітних самиць щурів за дії хімічно синтезованого германію цитрату. Біологія тварин. 2018. Т. 20, № 3. С. 176.

120. Храбко М., Федорук Р., Кропивка С. Показники стану імунної та антиоксидантної систем у крові вагітних самиць щурів F1 під дією різних доз цитрату германію. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Проблеми регуляції фізіологічних функцій. 2017. Вип. 1. С. 50-53

121. Храбко М., Федорук Р., Долайчук О. Фізіолого-біохімічні процеси в організмі самиць F0 і самців F1 щурів за умов вживання їм "наногерманію" цитрату і цитрату германію хімічно синтезованого. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2016. Вип. 73. С. 226-234.

122. Чекман І. С. Фармакологічні та фармацевтичні основи нанопрепаратів. Лікарська справа. 2010. - № 1-2. - С. 3-10.

123. Шаторна В. Ф., Гарець В. І., Білецька Е. М., Онул Н. М., Нефьодова О. О., Островська С. С., Степанов С. В. , Діхно Н. І. Експериментальне дослідження модифікуючого впливу наноаквахелату цитрату золота на ембріотоксичність ацетату свинцю у щурів. Медичні перспективи. 2014. Т. 19, № 2. С. 12-17.

124. Шостя А. М., Рокотянська В. О., Цибенко В. Г., Сокирко М. П., Гиря В. М., Мироненко О. І., Невідничий О. С., Каплуненко В. Г., Пашенко А. Г. Особливості формування прооксидантно-антиоксидантного гомеостазу в спермальній плазмі кнурів-плідників при згодовуванні наноаквахелатів. Свинарство. 2019. Вип. 72. С. 93-101.

125. Юзьвяк М. О., Лесик Я. В. Клінічні параметри організму кролів за умов теплового стресу та впливу наночастинок цинку, селену і германію цитратів. Ефективне кролівництво і звірівництво. 2024. Вип. 10. С. 169-184.

126. Яценко І. В., Гетманець О. М., Сененко Є. О. Алометрична залежність між живою масою курчат-бройлерів та масою їх внутрішніх органів при введенні в раціон наноаквахелату срібла. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2013. Т. 15, № 1(4). С. 238-245.

127. Яценко І. В., Гетманець О. М., Сененко Є. О. Аналіз впливу наноаквахелату срібла на живу масу курчат-бройлерів у ході їх відгодівлі.

Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва. 2013. Вип. 188(2). С. 237-242.

128. Яценко І. В., Сененко Є. О. Дегустаційне оцінювання м'яса й м'ясного бульйону курчат-бройлерів за введення в раціон наноаквахелату срібла. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. 2013. Т. 15, № 3(3). С. 441-453.

129. Яценко І. В., Гетманець О. М., Сененко Є. О. Порівняння різних моделей росту курчат-бройлерів у процесі їх відгодівлі у разі застосування наноаквахелату срібла. Науковий вісник ветеринарної медицини. 2013. Вип. 11. С. 169-171.

130. Abdel Gaber, S. A., Hamza, A. H., Tantawy, M. A., Toraih, E. A., & Ahmed, H. H. (2023). Germanium Dioxide Nanoparticles Mitigate Biochemical and Molecular Changes Characterizing Alzheimer's Disease in Rats. *Pharmaceutics*, 15(5), 1386. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15051386>

131. Aizawa, K., Nakamura, T., Shimada, Y., Takeda, T., Azumi, J., & Shore, A. C. (2025). Organogermanium: Potential beneficial effects on the cardiovascular system. *Physiological reports*, 13(3), e70234. <https://doi.org/10.14814/phy2.70234>

132. Alenkina, I. V., & Oshtrakh, M. I. (2024). Control of the Iron State in Pharmaceuticals Used for Treatment and Prevention of Iron Deficiency Using Mössbauer Spectroscopy. *Journal of pharmaceutical sciences*, 113(6), 1426–1454. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2024.02.023>

133. Ali, A., Ijaz, M., Khan, Y. R., Sajid, H. A., Hussain, K., Rabbani, A. H., Shahid, M., Naseer, O., Ghaffar, A., Naeem, M. A., Zafar, M. Z., Malik, A. I., & Ahmed, I. (2021). Role of nanotechnology in animal production and veterinary medicine. *Tropical animal health and production*, 53(5), 508. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02951-5>

134. Alimbarova, L. M., Ambrosov, I. V., Matelo, S. K., & Barinsky, I. F. (2021). Antiviral activity of the complex germanium-organic compound of acyclovir in in vitro and in vivo systems against the herpes simplex virus (Herpesviridae:

Alphaherpesvirinae: Simplexvirus: Human alphaherpesvirus 1/2). *Questions of virology*, 66(5), 368–382.

135. Anderson, G. J., & Frazer, D. M. (2017). Current understanding of iron homeostasis. *The American journal of clinical nutrition*, 106(Suppl 6), 1559S–1566S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.155804>

136. Ashraf, M. F., Zubair, D., Bashir, M. N., Alagawany, M., Ahmed, S., Shah, Q. A., Buzdar, J. A., & Arain, M. A. (2024). Nutraceutical and Health-Promoting Potential of Lactoferrin, an Iron-Binding Protein in Human and Animal: Current Knowledge. *Biological trace element research*, 202(1), 56–72. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03658-4>

137. Bai, D. P., Lin, X. Y., Huang, Y. F., & Zhang, X. F. (2018). Theranostics Aspects of Various Nanoparticles in Veterinary Medicine. *International journal of molecular sciences*, 19(11), 3299. <https://doi.org/10.3390/ijms19113299>

138. Baidya, S., Nishimoto, Y., Sato, S., Shimada, Y., Sakurai, N., Nonaka, H., Noguchi, K., Kido, M., Tadano, S., Ishikawa, K., Li, K., Okubo, A., Yamada, T., Orba, Y., Sasaki, M., Sawa, H., Miyamoto, H., Takada, A., Nakamura, T., & Takaoka, A. (2021). Dual Effect of Organogermanium Compound THGP on RIG-I-Mediated Viral Sensing and Viral Replication during Influenza a Virus Infection. *Viruses*, 13(9), 1674. <https://doi.org/10.3390/v13091674>

139. Barboi, A. C., & Macefield, V. G. (2025). The autonomic nervous system: Time for a conceptual reframing?. *The Journal of physiology*, 603(22), 6719–6731. <https://doi.org/10.1113/JP288973>

140. Beishon, L. C., Hosford, P., Gurung, D., Brassard, P., Minhas, J. S., Robinson, T. G., Haunton, V., & Panerai, R. B. (2022). The role of the autonomic nervous system in cerebral blood flow regulation in dementia: A review. *Autonomic neuroscience : basic & clinical*, 240, 102985. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.102985>

141. Boryczko, A., Skowron, K., Kurnik-Łucka, M., & Gil, K. (2023). The autonomic nervous system in anorexia nervosa - an implication for the fat tissue. *Folia medica Cracoviensia*, 63(3), 75–90. <https://doi.org/10.24425/fmc.2023.147215>

142. Burmistrova, D. A., Pomortseva, N. P., Voronina, Y. K., Kiskin, M. A., Dolgushin, F. M., Berberova, N. T., Eremenko, I. L., Poddel'sky, A. I., & Smolyaninov, I. V. (2024). Synthesis, Structure, Electrochemical Properties, and Antioxidant Activity of Organogermanium(IV) Catecholate Complexes. *International journal of molecular sciences*, 25(16), 9011. <https://doi.org/10.3390/ijms25169011>
143. Carandina, A., Lazzeri, G., Villa, D., Di Fonzo, A., Bonato, S., Montano, N., & Tobaldini, E. (2021). Targeting the Autonomic Nervous System for Risk Stratification, Outcome Prediction and Neuromodulation in Ischemic Stroke. *International journal of molecular sciences*, 22(5), 2357. <https://doi.org/10.3390/ijms22052357>
144. Chen, D., Zhou, Z., Zhou, Z., Zhao, L., & Chen, Y. (2025). Autonomic nervous system dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: mechanistic insights and therapeutic implications. *Annals of medicine*, 57(1), 2596426. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2596426>
145. Cheng, Y., Sun, F., D'Souza, A., Dhakal, B., Pisano, M., Chhabra, S., Stolley, M., Hari, P., & Janz, S. (2021). Autonomic nervous system control of multiple myeloma. *Blood reviews*, 46, 100741. <https://doi.org/10.1016/j.blre.2020.100741>
146. Di Paola, A., Tortora, C., Argenziano, M., Marrapodi, M. M., & Rossi, F. (2022). Emerging Roles of the Iron Chelators in Inflammation. *International journal of molecular sciences*, 23(14), 7977. <https://doi.org/10.3390/ijms23147977>
147. Dolaychuk O. P. Physiological Reactivity and Antioxidant Defense System of the Animal Organism Induced by Germanium, Chromium, and Selenium "Nanoaquacitrates" Soil-Remediating Activity of Agroecosystems and Chernozem Fertility Restoration Using Low-Carbon Technologies [Електронний ресурс] / O. P. Dolaychuk, R. S. Fedoruk, S. J. Kropyvka // *Agricultural science and practice*. - 2015. - № 2. - С. 50-55
148. Dolaycuk O. P. Physiological activity nanoaquacitrates of germanium, chromium and selenium in rats [Електронний ресурс] / O. P. Dolaycuk, R. S. Fedoruk, S. I. Kropyvka // *Біологія тварин*. - 2014. - Т. 16, № 3. - С. 172

149. Elango, J., Bushin, R., Lijnev, A., De Aza, P. N., Martínez, C. P., Marín, J. M. G., Hernandez, A. B., Olmo, L. R. M., & Val, J. E. M. S. (2022). The Effect of Germanium-Loaded Hydroxyapatite Biomaterials on Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells Growth. *Cells*, 11(19), 2993. <https://doi.org/10.3390/cells11192993>
150. El-Sayed, A., & Kamel, M. (2020). Advanced applications of nanotechnology in veterinary medicine. *Environmental science and pollution research international*, 27(16), 19073–19086. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3913-y>
151. Enko D. (2025). Physiology of Iron Metabolism. *Clinical laboratory*, 71(3), 10.7754/Clin.Lab.2024.241005. <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2024.241005>
152. Fedoruk R. S. Impact of feeding male rats F2 with different doses of germanium citrate on the content of microelements in the tissues and organs [Электронный ресурс] / R. S. Fedoruk, U. I. Tesarivska, M. I. Khrabko, M. M. Tsap, H. H. Denys // *Agricultural science and practice*. - 2018. - № 3. - С. 40–46
153. Fedoruk R. S. Reactions of physiological systems in the organisms of rats to feeding with low and high doses of germanium "nanoaquacitrate" [Электронный ресурс] / R. S. Fedoruk, O. P. Dolaychuk, I. I. Kovalchuk, M. M. Tsap // *Agricultural science and practice*. - 2015. - № 3. - С. 15-21
154. Frost, J. N., & Drakesmith, H. (2025). Iron and the immune system. *Nature reviews. Immunology*, 25(12), 885–899. <https://doi.org/10.1038/s41577-025-01193-y>
155. Galy, B., Conrad, M., & Muckenthaler, M. (2024). Mechanisms controlling cellular and systemic iron homeostasis. *Nature reviews. Molecular cell biology*, 25(2), 133–155. <https://doi.org/10.1038/s41580-023-00648-1>
156. Gao, Y., Wang, B., Hu, M., Ma, Y., & Zheng, B. (2024). The Role of Iron in Atherosclerosis and its Association with Related Diseases. *Current atherosclerosis reports*, 27(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s11883-024-01251-1>
157. Gibbons C. H. (2019). Basics of autonomic nervous system function. *Handbook of clinical neurology*, 160, 407–418. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00027-8>

158. Grekova O. V. Comparative evaluation of pharmacokinetic parameters on the absorption stage of coordination compound germanium ok-8 in rats in normal condition and in cerebral ischemia [Електронний ресурс] / O. V. Grekova // Український медичний альманах. - 2014. - Т. 17, № 1. - С. 71
159. Güven E. (2021). Nanotechnology-based drug delivery systems in orthopedics. *Joint diseases and related surgery*, 32(1), 267–273. <https://doi.org/10.5606/ehc.2021.80360>
160. Hafez, O. A., & Chang, R. B. (2025). Regulation of Cardiac Function by the Autonomic Nervous System. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 40(3), 0. <https://doi.org/10.1152/physiol.00018.2024>
161. Hao, L., Shan, Q., Wei, J., Ma, F., & Sun, P. (2019). Lactoferrin: Major Physiological Functions and Applications. *Current protein & peptide science*, 20(2), 139–144. <https://doi.org/10.2174/1389203719666180514150921>
162. Hill, E. K., & Li, J. (2017). Current and future prospects for nanotechnology in animal production. *Journal of animal science and biotechnology*, 8, 26. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0157-5>
163. Höybye, C., & Petersson, M. (2025). Neuropeptides and the Autonomic Nervous System in Prader-Willi Syndrome. *International journal of molecular sciences*, 27(1), 352. <https://doi.org/10.3390/ijms27010352>
164. Ishay, Y., Kolben, Y., Kessler, A., & Ilan, Y. (2021). Role of circadian rhythm and autonomic nervous system in liver function: a hypothetical basis for improving the management of hepatic encephalopathy. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 321(4), G400–G412. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00186.2021>
165. Jafary, F., Motamedi, S., & Karimi, I. (2023). Veterinary nanomedicine: Pros and cons. *Veterinary medicine and science*, 9(1), 494–506. <https://doi.org/10.1002/vms3.1050>
166. Jänig, W., & Häbler, H. J. (2000). Specificity in the organization of the autonomic nervous system: a basis for precise neural regulation of homeostatic and

protective body functions. *Progress in brain research*, 122, 351–367. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)62150-0](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(08)62150-0)

167. Karemaker J. M. (2017). An introduction into autonomic nervous function. *Physiological measurement*, 38(5), R89–R118. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa6782>

168. Katsarou, A., & Pantopoulos, K. (2020). Basics and principles of cellular and systemic iron homeostasis. *Molecular aspects of medicine*, 75, 100866. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2020.100866>

169. Koleini, N., Shapiro, J. S., Geier, J., & Ardehali, H. (2021). Ironing out mechanisms of iron homeostasis and disorders of iron deficiency. *The Journal of clinical investigation*, 131(11), e148671. <https://doi.org/10.1172/JCI148671>

170. Kontoghiorghes G. J. (2024). The Importance and Essentiality of Natural and Synthetic Chelators in Medicine: Increased Prospects for the Effective Treatment of Iron Overload and Iron Deficiency. *International journal of molecular sciences*, 25(9), 4654. <https://doi.org/10.3390/ijms25094654>

171. Lammers-Lietz, F., Spies, C., & Maggioni, M. A. (2025). The autonomous nervous system and the cholinergic anti-inflammatory reflex in postoperative neurocognitive disorders. *Current opinion in anaesthesiology*, 38(1), 1–8. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000001446>

172. Lemery R. (2024). The autonomic nervous system and the origins of neurocardiology. *Journal of cardiovascular electrophysiology*, 35(8), 1665–1672. <https://doi.org/10.1111/jce.16307>

173. Liu, S., Yin, J., Wan, D., & Yin, Y. (2024). The Role of Iron in Intestinal Mucus: Perspectives from Both the Host and Gut Microbiota. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 15(11), 100307. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100307>

174. Liu, Y., Hu, S., Shi, B., Yu, B., Luo, W., Peng, S., & Du, X. (2024). The Role of Iron Metabolism in Sepsis-associated Encephalopathy: a Potential Target. *Molecular neurobiology*, 61(7), 4677–4690. <https://doi.org/10.1007/s12035-023-03870-2>

175. Luo, X., Sun, J., Kong, D., Lei, Y., Gong, F., Zhang, T., Shen, Z., Wang, K., Luo, H., & Xu, Y. (2023). The role of germanium in diseases: exploring its important biological effects. *Journal of translational medicine*, 21(1), 795. <https://doi.org/10.1186/s12967-023-04643-0>
176. Manolis, A. A., Manolis, T. A., Apostolopoulos, E. J., Apostolaki, N. E., Melita, H., & Manolis, A. S. (2021). The role of the autonomic nervous system in cardiac arrhythmias: The neuro-cardiac axis, more foe than friend?. *Trends in cardiovascular medicine*, 31(5), 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2020.04.011>
177. Mayneris-Perxachs, J., Moreno-Navarrete, J. M., & Fernández-Real, J. M. (2022). The role of iron in host-microbiota crosstalk and its effects on systemic glucose metabolism. *Nature reviews. Endocrinology*, 18(11), 683–698. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00721-3>
178. Medical Advisory Secretariat (2006). Nanotechnology: an evidence-based analysis. *Ontario health technology assessment series*, 6(19), 1–43.
179. Menchikov, L. G., & Popov, A. V. (2023). Physiological Activity of Trace Element Germanium including Anticancer Properties. *Biomedicines*, 11(6), 1535. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061535>
180. Mikhailov, A., Arora, R., & Pfenniger, A. (2025). Autonomic dysregulation and atrial arrhythmias. *American journal of physiology. Cell physiology*, 329(5), C1439–C1450. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00537.2025>
181. Milne C. (1989). The autonomic nervous system. *Nursing standard (Royal College of Nursing (Great Britain) : 1987)*, 3(19), 26–27.
182. Mu, Q., Chen, L., Gao, X., Shen, S., Sheng, W., Min, J., & Wang, F. (2021). The role of iron homeostasis in remodeling immune function and regulating inflammatory disease. *Science bulletin*, 66(17), 1806–1816. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.02.010>
183. Muckenthaler, M. U., Galy, B., & Hentze, M. W. (2008). Systemic iron homeostasis and the iron-responsive element/iron-regulatory protein (IRE/IRP) regulatory network. *Annual review of nutrition*, 28, 197–213. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.28.061807.155521>

184. Müller, M. S., Vyssotski, A. L., Yamamoto, M., & Yoda, K. (2017). Heart rate variability reveals that a decrease in parasympathetic ('rest-and-digest') activity dominates autonomic stress responses in a free-living seabird. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 212, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.07.007>
185. Nairz, M., Dichtl, S., Schroll, A., Haschka, D., Tymoszuk, P., Theurl, I., & Weiss, G. (2018). Iron and innate antimicrobial immunity-Depriving the pathogen, defending the host. *Journal of trace elements in medicine and biology : organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 48, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.03.007>
186. Narokha, V., Nizhenkovska, I., & Kuznetsova, O. (2021). Potential of germanium-based compounds in coronavirus infection. *Acta pharmaceutica (Zagreb, Croatia)*, 72(2), 245–258. <https://doi.org/10.2478/acph-2022-0016>
187. Navarro X. (2002). Fisiologia del sistema nervioso autónomo [Physiology of the autonomic nervous system]. *Revista de neurologia*, 35(6), 553–562.
188. Oates P. S. (2007). The relevance of the intestinal crypt and enterocyte in regulating iron absorption. *Pflugers Archiv : European journal of physiology*, 455(2), 201–213. <https://doi.org/10.1007/s00424-007-0264-9>
189. Roche, F., Pichot, V., Mouhli-Gasmi, L., Monier, M., Barthélémy, J. C., Berger, M., Celle, S., & Chouchou, F. (2024). Anatomy and physiology of the autonomic nervous system: Implication on the choice of diagnostic/monitoring tools in 2023. *Revue neurologique*, 180(1-2), 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2023.12.003>
190. Russo, B., Menduni, M., Borboni, P., Picconi, F., & Frontoni, S. (2021). Autonomic Nervous System in Obesity and Insulin-Resistance-The Complex Interplay between Leptin and Central Nervous System. *International journal of molecular sciences*, 22(10), 5187. <https://doi.org/10.3390/ijms22105187>
191. Salgado, H. C., Brognara, F., Ribeiro, A. B., Lataro, R. M., Castania, J. A., Ulloa, L., & Kanashiro, A. (2023). Autonomic Regulation of Inflammation in

Conscious Animals. *Neuroimmunomodulation*, 30(1), 102–112.

<https://doi.org/10.1159/000530908>

192. Samonina, G. E., Sokolova, N. A., & Kopylova, G. N. (1983). Funktsional'naiia organizatsiia vegetativnoi nervnoi sistemy [Functional organization of the autonomic nervous system]. *Nauchnye doklady vysshei shkoly. Biologicheskie nauki*, (3), 6–20.

193. Scott-Solomon, E., Boehm, E., & Kuruvilla, R. (2021). The sympathetic nervous system in development and disease. *Nature reviews. Neuroscience*, 22(11), 685–702. <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00523-y>

194. Shields R. W., Jr (1993). Functional anatomy of the autonomic nervous system. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society*, 10(1), 2–13. <https://doi.org/10.1097/00004691-199301000-00002>

195. Shoemaker, M. E., Salmon, O. F., Smith, C. M., Duarte-Gardea, M. O., & Cramer, J. T. (2022). Influences of Vitamin D and Iron Status on Skeletal Muscle Health: A Narrative Review. *Nutrients*, 14(13), 2717. <https://doi.org/10.3390/nu14132717>

196. Shukla, K., Mishra, V., Singh, J., Varshney, V., Verma, R., & Srivastava, S. (2024). Nanotechnology in sustainable agriculture: A double-edged sword. *Journal of the science of food and agriculture*, 104(10), 5675–5688. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13342>

197. Soleymani-Goloujeh, M., Hosseini, S., & Baghaban Eslaminejad, M. (2023). Advanced Nanotechnology Approaches as Emerging Tools in Cellular-Based Technologies. *Advances in experimental medicine and biology*, 1409, 127–144. https://doi.org/10.1007/5584_2022_725

198. Stoffel, N. U., & Drakesmith, H. (2024). Effects of Iron Status on Adaptive Immunity and Vaccine Efficacy: A Review. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 15(6), 100238. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100238>

199. Švorc, P., Jr, Grešová, S., & Švorc, P. (2023). Heart rate variability in male rats. *Physiological reports*, 11(18), e15827. <https://doi.org/10.14814/phy2.15827>

200. Tavares, L., Lador, A., & Valderrábano, M. (2021). Sleep Apnea and Atrial Fibrillation: Role of the Cardiac Autonomic Nervous System. *Methodist DeBakey cardiovascular journal*, 17(1), 49–52. <https://doi.org/10.14797/ZYUT2951>
201. Tibensky, M., & Mravec, B. (2021). Role of the parasympathetic nervous system in cancer initiation and progression. *Clinical & translational oncology : official publication of the Federation of Spanish Oncology Societies and of the National Cancer Institute of Mexico*, 23(4), 669–681. <https://doi.org/10.1007/s12094-020-02465-w>
202. Trushkin S. V. Surface micromorphology research of lead telluride epitaxial layers, doped by germanium, gallium and indium [Електронний ресурс] / S. V. Trushkin, P. M. Lytvyn // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. : Фізика. - 2001. - Вип. 10. - С. 79-84
203. Tundisi, L. L., Ataide, J. A., Costa, J. S. R., Coêlho, D. F., Liszbinski, R. B., Lopes, A. M., Oliveira-Nascimento, L., de Jesus, M. B., Jozala, A. F., Ehrhardt, C., & Mazzola, P. G. (2023). Nanotechnology as a tool to overcome macromolecules delivery issues. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 222, 113043. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.113043>
204. Vanin A. F. (2022). Positive (Regulatory) and Negative (Cytotoxic) Effects of Dinitrosyl Iron Complexes on Living Organisms. *Biochemistry. Biokhimiia*, 87(11), 1367–1386. <https://doi.org/10.1134/S0006297922110153>
205. Vogt, A. S., Arsiwala, T., Mohsen, M., Vogel, M., Manolova, V., & Bachmann, M. F. (2021). On Iron Metabolism and Its Regulation. *International journal of molecular sciences*, 22(9), 4591. <https://doi.org/10.3390/ijms22094591>
206. Wada, T., Hanyu, T., Nozaki, K., Kataoka, K., Kawatani, T., Asahi, T., & Sawamura, N. (2018). Antioxidant Activity of Ge-132, a Synthetic Organic Germanium, on Cultured Mammalian Cells. *Biological & pharmaceutical bulletin*, 41(5), 749–753. <https://doi.org/10.1248/bpb.b17-00949>
207. Wang, T., Tufenkjian, A., Ajijola, O. A., & Oka, Y. (2025). Molecular and functional diversity of the autonomic nervous system. *Nature reviews. Neuroscience*, 26(10), 607–622. <https://doi.org/10.1038/s41583-025-00941-2>

208. Wang, Y. S., Teng, G. Q., Zhou, H., & Dong, C. L. (2020). Germanium Reduces Inflammatory Damage in Mammary Glands During Lipopolysaccharide-Induced Mastitis in Mice. *Biological trace element research*, 198(2), 617–626. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02106-x>
209. Ward, R. J., Crichton, R. R., Taylor, D. L., Della Corte, L., Srai, S. K., & Dexter, D. T. (2011). Iron and the immune system. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*, 118(3), 315–328. <https://doi.org/10.1007/s00702-010-0479-3>
210. Wehrwein, E. A., Orer, H. S., & Barman, S. M. (2016). Overview of the Anatomy, Physiology, and Pharmacology of the Autonomic Nervous System. *Comprehensive Physiology*, 6(3), 1239–1278. <https://doi.org/10.1002/cphy.c150037>
211. Williams, R. M., Chen, S., Langenbacher, R. E., Galassi, T. V., Harvey, J. D., Jena, P. V., Budhathoki-Uprety, J., Luo, M., & Heller, D. A. (2021). Harnessing nanotechnology to expand the toolbox of chemical biology. *Nature chemical biology*, 17(2), 129–137. <https://doi.org/10.1038/s41589-020-00690-6>
212. Yu, Y., Chen, T., Zheng, Z., Jia, F., Liao, Y., Ren, Y., Liu, X., & Liu, Y. (2024). The role of the autonomic nervous system in polycystic ovary syndrome. *Frontiers in endocrinology*, 14, 1295061. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1295061>
213. Zhang, J., Zhao, H., Yao, G., Qiao, P., Li, L., & Wu, S. (2021). Therapeutic potential of iron chelators on osteoporosis and their cellular mechanisms. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 137, 111380. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111380>
214. Zhmurko, A. O., Ulyanchych, N. V., Rublenko, M. V., Shevchenko, S. M., Kopchak, A. V., Kolomiets, V. V., & Palyvoda, R. S. (2025). Efficiency of replacement of bone defect in rabbit jaw with germanium-doped calcium phosphate ceramics. *Polski merkuriusz lekarski : organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*, 53(2), 239–249. <https://doi.org/10.36740/Merkur202502113>

ДОДАТКИ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Статті у наукових та фахових виданнях України

1. Ковальчук О.О., Томчук В.А., Данчук В.О., **Химинець П.С.**, Гутий Б.В., Криворучко Д.І., Карповський В.В. Вплив наносполук залізоу та германію на вміст церулоплазміну в крові свиноматок і отриманих від них поросят. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2023. Т. 25, № 112. С. 201-205. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11231>
2. Gutyj V. V., Martyshuk T. V., Khalak V. I., Zezekalo M. A., Omelchenko O. V., Todorciuk V. B., **Khymynets P. S.**, Vyslotska L. V., Vus U. M., Prysiazhniuk V. Y. The influence of feed additive “Sylimevit” on indicators of the immune system of piglets at weaning. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2023. Т. 25, № 110. С. 104-109. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11017>
3. **Химинець П.С.**, Греля Р.В., Грищук І.А., Гутий Б.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Грищук А.В., Журенко О.В., Карповський В.І., Голопура С.І., Тодорюк В.Б. Вплив вегетативної регуляції на гематологічні показники свиней. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2025. Т. 27, № 117. С. 44-49. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11706>
4. Тодорюк В.Б., Журенко О.В., Криворучко Д.І., Журенко В.В., Кравчук С.В., **Химинець П.С.** Варіаційно-пульсометричне дослідження тонузу автономної нервової системи у свиней». Наукові доповіді НУБіП України, 2023. № 6/106. [https://doi.org/10.31548/dopovidi6\(106\).2023.018](https://doi.org/10.31548/dopovidi6(106).2023.018)
5. **Химинець П.С.**, Грищук А.В., Греля Р.В., Нагорець Р.В., Гутий Б.В., Грищук І.А., Калінін І.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Журенко О.В., Карповський В.І. Зміни бактерицидної активності сироватки крові свиней за використання наноаквахелатів з урахуванням вегетативної регуляції. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2025. Т. 27, № 120. С. 135-142. <https://doi.org/10.32718/nvlvet12017>

6. Ковальчук О.О., Томчук В.А., Данчук В.О., **Химинець П.С.**, Гутий Б.В., Карповський В.В., Карповський П.В., Нагорець Р.В., Греля Р.В. Антиоксидантний та енергетичний статус поросят у ранній постнатальний період за задавання свиноматкам хелатів феруму і германію. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки, 2026. Т 28, № 121. С. 31-36. <https://doi.org/10.32718/nvlvet12105>

7. Химинець П.С., Карповський В.І., Журенко О.В., Нагорець Р.В., Греля Р.В., Мельничук В.В., Грищук І.А., Карповський П.В., Ковальчук О.О.: Фагоцитарна активність лейкоцитів у свиней з урахуванням автономної нервової системи при застосуванні наноаквохелатів . Наукові доповіді НУБіП України. Ветеринарія. Науковий прогрес та інновації 29(1). С. 110-116. <https://orcid.org/0009-0000-6249-1026>

Перелік тез наукових доповідей.

1. Кравчук С.В., Тодорюк В.Б., **Химинець П.С.**, Грищук І.А., Ільчишин М.М., Журенко О.В., Карповський В.І.: «Визначення варіабельності серцевого ритму як показника впливу тонусу автономної нервової системи у свиней». Міжнародна науково-практична конференція: «Актуальні проблеми фізіології тварин». 25–26 травня 2023 року, м. Львів.

2. Карповський В.І., Журенко О.В., **Химинець П.С.**, Кравчук С.В.: «Вплив наноаквохелатів германію та залізоу на морфологічні показники крові свиноматок з різним тонусом автономної нервової системи». Міжнародна науково-практична конференція науковців, викладачів та аспірантів: «Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи – 2024», 22 тавня 2024 року, м. Харків.

3. Карповський В.І., **Химинець П.С.**: «Морфологічні індикатори крові свиноматок при різному тонусі автономної нервової системи»: Апробація результатів дисертаційного дослідження проводилося на 11-та міжнародна науково-практична конференція «Наукові досягнення сучасного суспільства», Лондон 29-31.05.25.

