

## State of connective tissue components in obese horses

S. Borovkov<sup>1</sup> | O. Timoshenko<sup>2</sup> | V. Borovkova<sup>2</sup>

## Article info

## Correspondence Author

S. Borovkov

E-mail:

[serg\\_b78@ukr.net](mailto:serg_b78@ukr.net)

<sup>1</sup> National Scientific Center  
"Institute of Experimental and  
Clinical Veterinary Medicine",  
Pushkinska Street, 83,  
Kharkiv, 61023, Ukraine

<sup>2</sup> State Biotechnological  
University,  
Alchevskikh Street, 44,  
Kharkiv, 61002, Ukraine

**Citation:** Borovkov, S., Timoshenko, O., Borovkova, V. (2023). State of connective tissue components in obese horses. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (4), 126–130. doi: 10.31210/spi2023.26.04.22

The article presents the results of studying the impact of obesity on the state of connective tissue components in horses. The research was conducted on 20 horses of both genders, divided into a control group (healthy horses, n=10) and an experimental group (horses with obesity, n=10). The aim of the study was to determine the influence of obesity on the structural and biochemical characteristics of connective tissue components in horses under normal conditions and to assess their diagnostic criteria in obesity. In the study, biochemical methods of analysis were used to determine the concentration of glycosaminoglycans (GAGs) and their fractions, as well as chondroitin sulfates (CS) in blood serum. The obtained results underwent statistical analysis to determine the statistical significance of the obtained values. The tables included indicators such as median, quartiles Q1 and Q3, and the significant difference between groups was established based on the Mann-Whitney criterion ( $p \leq 0.05$ ). Correlation relationships were determined using the Pearson method. The study highlights the results of investigating the state of connective tissue components in horses with obesity, with special attention given to the analysis of glycosaminoglycans and chondroitin sulfates in blood serum. Understanding the changes in these components in blood serum is crucial for the development of personalized treatment strategies and the management of the health of obese horses, thereby contributing to the preservation of optimal functionality and strength of their musculoskeletal system. Significant and credible changes in the concentration of chondroitin sulfates, glycoproteins, and their fractions were identified in healthy horses and horses with obesity. This indicates potential issues with the strength and elasticity of the bone and joint connective tissue, particularly the musculoskeletal system in horses with obesity. The study's conclusions indicate that obesity has a negative impact on the state of connective tissue components in horses, which may lead to reduced mobility and performance of animals and increase the overall risk of injuries.

**Keywords:** connective tissue, horses, obesity, biochemical characteristics, blood serum.

## Стан компонентів сполучної тканини у коней за ожиріння

С. Б. Боровков<sup>1</sup> | О.П. Тимошенко<sup>2</sup> | В. М. Боровкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний науковий  
центр «Інститут  
експериментальної  
та клінічної ветеринарної  
медицини»,  
м. Харків, Україна

<sup>2</sup> Державний  
біотехнологічний  
університет,  
м. Харків, Україна

У цій статті представлено результати вивчення впливу ожиріння на стан компонентів сполучної тканини у коней. Дослідження проведено на 20 конях обох статей, розділених на контрольну (здорові коні n=10) та експериментальну групу (коні з ожирінням n=10). Метою дослідження було визначити вплив ожиріння на структурні та біохімічні характеристики компонентів сполучної тканини в коней у нормі та оцінити їх діагностичні критерії при ожирінні. У дослідженні для визначення концентрації глікозаміногліканів (ГАГ) та їх фракцій, а також хондроїтинсульфатів (ХСТ) у сироватці крові використовувалися біохімічні методи аналізу. Отримані результати проаналізували і визначили статистичну значущість отриманих величин, в таблицях зазначали такі показники: Медіана, квартилі Q1 та Q3, достовірну різницю між групами встановлювали на основі розрахунку критерія Mann-Whitney ( $p \leq 0,05$ ), кореляційні зв'язки визначали з використанням методу Пірсона. Відповідно, в роботі висвітлено результати дослідження стану компонентів сполучної тканини у коней з ожирінням, де особливу увагу приділено аналізу глікозаміногліканів та хондроїтинсульфатів у сироватці крові. Розуміння змін цих компонентів у сироватці крові має важливе значення для розробки персоналізованих стратегій лікування та управління здоров'ям коней з ожирінням, сприяючи тим самим збереженню оптимальної функціональності та міцності їх опорно-рухового апарату. Виявлено суттєві достовірні зміни концентрації хондроїтинсульфатів, глікопротеїнів та їх фракцій у здорових коней та коней із ожирінням. Це вказує на потенційні проблеми з міцністю та еластичністю сполучної тканини кісток та суглобів, а саме опорно-рухового апарату у коней при ожирінні. Висновки дослідження свідчать про те, що ожиріння відзначається негативним впливом на стан компонентів сполучної тканини у коней. Це може призвести до зниження рухливості та працездатності тварин, а також підвищити загальний ризик травм.

**Ключові слова:** сполучна тканина, коні, ожиріння, біохімічні характеристики, сироватка крові.

**Бібліографічний опис для цитування:** Боровков С. Б., Тимошенко О.П., Боровкова В. М. Стан компонентів сполучної тканини у коней за ожиріння. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (4). С. 126–130.

## Вступ

Ожиріння у коней є серйозною проблемою в сучасному тваринництві, зважаючи на тенденції щодо неправильного харчування та обмеженої фізичної активності. Цей стан супроводжується низкою патологічних змін в організмі тварини включно зі структурними та біохімічними змінами у сполучній тканині.

Актуальність цього дослідження визначається потребою у глибокому розумінні молекулярних механізмів, які полягають в основі змін у компонентах сполучної тканини під впливом ожиріння. На сьогодні існує необхідність виявлення конкретних біохімічних та молекулярних змін, що відбуваються в організмі коней, які страждають на ожиріння, для розробки ефективних стратегій управління здоров'ям та лікування цього стану.

Ця стаття присвячена результатам дослідження стану компонентів сполучної тканини у коней з ожирінням, де особливу увагу приділено аналізу глікозаміногліканів (ГАГ) та хондроїтинсульфатів (ХСТ) у сироватці крові. Розуміння цих змін має важливе значення для розробки персоналізованих стратегій лікування та управління здоров'ям коней з ожирінням, які у такий спосіб сприятимуть збереженню оптимальної функціональності та міцності їхньої сполучної тканини.

Згідно з дослідженнями, ожиріння у коней є серйозною проблемою, яка може призвести до погіршення стану здоров'я та розвитку низки захворювань [1]. Одним із негативних наслідків ожиріння у коней є порушення синтезу компонентів сполучної тканини, зокрема глікозаміногліканів [2].

Глікозаміноглікани є основним компонентом міжклітинної речовини сполучної тканини, яка забезпечує її гідратацію та пружність [3]. Згідно з дослідженнями [4] зниження рівня ГАГ і зокрема гіалуринової кислоти у сироватці крові призводить до послаблення сполучної тканини, що може спричинити такі проблеми:

- зниження рухливості;
- болі в суглобах;
- порушення координації рухів;
- збільшення схильності до травм.

Ожиріння у коней може призвести до підвищення рівня аланінамінотрансферази, аспартатамінотрансферази та лужної фосфатази у сироватці крові [5]. Ці ферменти також містяться у клітинах сполучної тканини, і їхнє підвищення може свідчити про пошкодження сполучної тканини.

Лікування ожиріння у коней передбачає корекцію раціону харчування та фізичних навантажень [6]. Також може бути призначена медикаментозна терапія для покращення стану сполучної тканини. Нормальні показники сполучної тканини у сироватці крові коней можуть дещо відрізнятися залежно від породи, віку та статі коня [7, 8].

Дослідженню проблем ожиріння та його впливу на обмін речовин приділяли увагу різні науковці. Наприклад, Morgan et al. (2018) оцінили маркери ендотеліальної дисфункції у коней з ожирінням та коней з нормальною вагою. Вони виявили, що у коней

з ожирінням був підвищений рівень маркерів ендотеліальної дисфункції [9]. Це свідчить про те, що ожиріння може призвести до порушення функції ендотелію у коней. Potter et al. (2017) оцінили маркери оксидативного стресу у коней з ожирінням та коней з нормальною вагою. Вони виявили, що у коней з ожирінням був підвищений рівень маркерів оксидативного стресу [10]. Це свідчить про те, що ожиріння може призвести до підвищення рівня оксидативного стресу у коней. Reynolds et al. (2019) оцінили метаболізм глюкози та метаболізм ліпідів у коней з ожирінням та коней з нормальною вагою. Вони виявили, що у коней з ожирінням був підвищений рівень глюкози у крові, а також підвищений рівень жирних кислот у крові [11]. Ожиріння може призвести до порушення метаболізму глюкози та метаболізму ліпідів у коней. Robin et al. (2015) оцінили еластичність суглобів у коней з ожирінням та коней з нормальною вагою. Вони виявили, що суглоби коней з ожирінням були менш еластичними, ніж суглоби коней з нормальною вагою [12]. Це свідчить про те, що ожиріння може негативно вплинути на еластичність суглобів у коней. Robles et al. (2018) оцінили міцність сухожилок у коней з ожирінням та коней з нормальною вагою. Вони виявили, що сухожилля коней з ожирінням були слабшими, ніж сухожилля коней з нормальною вагою [13].

Santillana et al. (2023) наголошують, що стан сполучної тканини є важливим показником здоров'я коня [14]. Ожиріння є одним із факторів, що негативно впливають на стан сполучної тканини [15, 21].

## Мета дослідження

Метою дослідження було визначити ступінь впливу ожиріння на структурні та біохімічні характеристики компонентів сполучної тканини у коней.

Цілі дослідження містять:

- аналіз глікозаміногліканів та хондроїтинсульфатів: визначення концентрації та фракцій глікозаміногліканів у сироватці крові коней з ожирінням порівняно зі здоровими конями;
- виявлення кореляційних взаємозв'язків між різними компонентами сполучної тканини.

## Матеріали і методи

Дослідження проводили в кінних господарствах Харківської області, у вибірку включали клінічно здорових коней обох статей, віком 3–7 років, розділених на контрольну (здорові коні n=10) та експериментальну групу (коні з ожирінням n=10).

Клінічні дослідження коней проводили згідно із загальноприйнятою методикою.

Дослідження сироватки крові проводили за допомогою фотометричної системи COBAS C 311 (Німеччина) з іон-селективними електродами для вивчення клінічних, біохімічних, показників сироватки крові. Визначення вмісту глікопротеїнів відбувалося за модифікованим методом О. П. Штейнберга та Я. Н. Доценка [16], хондроїтинсульфатів – за методом Nemeth–Csoka у модифікації

Л. І. Слущького [17, 18], фракції глікозаміногліканів – за М. Р. Штерном зі співавторами [19, 20]. Статистичний аналіз даних був здійснений за допомогою програми Minitab 19, Minitab Inc, USA. Параметри окремих біохімічних показників крові розглядали як непараметричні дані, виражені як медіана (Me) та перший (Q1) і третій (Q3) квантили. Статистичну різницю між групами здійснювали за допомогою критерія Манна-Уїтні. Значущими вважалися відмінності між показниками у групах за  $p < 0,05$ . Кореляційні зв'язки з'ясували за допомогою визначення коефіцієнту рангової кореляції Спірмена ( $r_s$ ).

Відповідно, вищенаведені методи дослідження дали змогу отримати детальні дані щодо стану компонентів сполучної тканини у коней з ожирінням, що своєю чергою розширює наше розуміння молекулярних механізмів, які відбуваються в

### Таблиця 1

Показники стану сполучної тканини сироватки крові коней у нормі та за наявності ожиріння, з указаними медіанами (Me) та першим (Q1) і третім (Q3) квантилями (n=10)

Показники	Групи тварин					
	контрольна			дослідна		
	Me	Q1	Q3	Me	Q1	Q3
Глікозаміноглікани, од	4,9	4,4	5,1	5,9***	5,6	6,2
I фракція ГАГ, од	2,6	2,5	2,8	3,0*	2,7	3,3
II фракція ГАГ, од	1,3	1,2	1,3	1,6**	1,4	1,8
III фракція ГАГ, од	0,9	0,9	1,0	1,3**	1,1	1,4
Глікопротеїни, од	0,59	0,56	0,61	0,62*	0,59	0,72
Хондроїтинсульфати, г/л	0,103	0,091	0,106	0,118***	0,110	0,132
Лужна фосфатаза, од. Боданськи	7,2	6,3	7,9	11,3**	9,3	12,2

Примітки: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$  – порівняно з контрольною групою.

Середні значення глікозаміногліканів у контрольній групі та групі з ожирінням становлять 4,9 та 5,9 відповідно ( $p < 0,001$ ). Це своєю чергою супроводжується змінами фракційного складу глікозаміногліканів, а саме фракції ГАГ I, II, III також відзначаються варіацією між групами, де спостерігається збільшення у значеннях фракцій у коней з ожирінням. Варто зазначити, що ці зміни стосуються як кісткової, так і хрящової тканини. Щодо хондроїтинсульфатів, їх середнє значення у групі з ожирінням складає 0,118 порівняно з 0,103 у контрольній групі. Це може вказувати на вплив ожиріння на масу тіла тварин і, як наслідок, призвести до деструкції хрящової тканини опорно-рухового апарату коней.

Загальний профіль біохімічних показників також містить дані щодо лужної фосфатази, що є важливим показником функції кісткової тканини. Середнє значення лужної фосфатази становить 7,2 в контрольній групі та 11,3 у групі з ожирінням.

Зважаючи на вищенаведені, загальна тенденція вказує на те, що ожиріння суттєво впливає на біохімічні характеристики сполучної тканини коней, збільшення ГАГ та ХСТ може свідчити про зміни у структурі та складі молекул, що входять до складу міжклітинного матриксу тканин, збільшення лужної фосфатази може вказувати на активність клітин, що залучені до обміну речовин у кістковій та хрящовій тканинах. Отже, можна зазначити, що ожиріння коней

організмі тварини при такому стані. Це дослідження відкриває перспективи для розвитку персоналізованих підходів до лікування та управління здоров'ям коней, що стали жертвами ожиріння.

### Результати та їх обговорення

У табл. 1. наведено дані щодо отриманих результатів аналізу показників стану сполучної тканини сироватки крові коней у нормі та за наявності ожиріння: запропоновано результати аналізу біохімічних показників у коней обох груп, які надають інформацію про зміни, що відбуваються у сироватці крові коней на рівні біологічних молекул. У таблиці представлені значення глікозаміногліканів (ГАГ), їх фракцій (I, II, III), хондроїтинсульфатів (ХСТ) та інших показників для обох груп коней.

впливає не лише на структуру, але й на функціональність сполучної тканини, збільшуючи ризик травм та знижуючи міцність тканин.

Порушення синтезу та структури – збільшення ГАГ у коней з ожирінням – може вказувати на порушення синтезу та/або деградацію глікозаміногліканів. Це може впливати на властивості міжклітинного матриксу, який підтримує цілісність та міцність тканин.

У табл. 2. наведено результати аналізу достовірних кореляційних зв'язків даних, які були отримані в табл. 1.

Із результатів, які наведено в табл. 2, випливає, що аналіз кореляційних зв'язків у клінічно здорових коней має такі залежності: значення кореляції між ГАГ та фракціями I, II, III досить високі (від 0,695 до 0,747). Це свідчить про позитивний зв'язок між концентрацією глікозаміногліканів та їхніми фракціями у сироватці крові коней; II та III фракції мають високий коефіцієнт кореляції (0,905), що свідчить про сильний позитивний зв'язок між ними. Це може вказувати на взаємозалежність у змінах концентрацій цих фракцій; ЛФ має від'ємний зв'язок з II фракцією глікозаміногліканів (–0,635) та III фракцією (–0,569).

Це може свідчити про те, що зі збільшенням концентрації цих фракцій може зменшуватися щільність фібриногену, що має значення для регулювання коагуляційних властивостей крові.

## Таблиця 2

Результати аналізу достовірних кореляційних зв'язків показників стану сполучної тканини сироватки крові коней у нормі та за наявності ожиріння

	ГАГ	I	II	III	ГП	ХСТ	ЩФ
<i>Клінічно здорові коні</i>							
ГАГ	1						
I	0,695151*	1					
II	0,747356*	0,070293	1				
III	0,717975*	0,067687	0,905663*	1			
ГП	0,193909	0,452125	-0,0987	-0,08727	1		
ХСТ	0,247457	0,194574	0,152037	0,22966	0,634644*	1	
ЛФ	-0,20375	0,388783	-0,63546*	-0,56962*	0,360614	-0,04746	1
<i>Коні із ожирінням</i>							
ГАГ	1						
I	0,562892*	1					
II	0,582581*	-0,35862	1				
III	0,50582	-0,62862*	0,785224*	1			
ГП	0,720565*	0,28283	0,327922	-0,01779	1		
ХСТ	0,630635*	-0,70684*	0,681641*	0,143607	0,623864*	1	
ЛФ	-0,502508	-0,05658	0,718353*	-0,08027	0,319747	0,17592	1

Примітка: \* –  $p < 0,05$

Виявлені кореляції можуть бути важливими для розуміння внутрішньосистемних зв'язків та молекулярних механізмів, які відбуваються в організмі коней під впливом ожиріння.

Згідно із табл. 1 та табл. 2, ожиріння негативно впливає на стан компонентів сполучної тканини у коней. Це може призвести до зниження рухливості та працездатності тварин, а також підвищити загальний ризик травм.

У коней, які перебувають у нормальному стані, виявлено стійку та збалансовану композицію компонентів сполучної тканини у сироватці крові. Кількість глікозаміногліканів (ГАГ) та їхні фракції, а також хондроїтинсульфати (ХСТ) знаходяться в оптимальних величинах. Це свідчить про збереження сполучної тканини та оптимального функціонального стану організму коней. Глікозаміноглікани відповідають за еластичність та міцність тканин, а хондроїтинсульфати забезпечують стабільність хрящових структур.

У коней з ожирінням виявлені значні зміни в компонентах сполучної тканини сироватки крові. Спостерігається помітне зменшення вмісту глікозаміногліканів, зокрема фракцій I, II та III. Ці зміни можуть вказувати на порушення структури та функції сполучної тканини під впливом ожиріння. Також зафіксоване зниження рівня хондроїтинсульфатів, що може впливати на стійкість та міцність хрящових тканин.

## Висновки

1. Результати дослідження свідчать про те, що ожиріння відзначається негативним впливом на стан компонентів сполучної тканини у коней. Це може призвести до зниження рухливості та працездатності тварин, а також підвищити загальний ризик травм.

2. Порушення синтезу та структури – збільшення ГАГ у коней з ожирінням – може вказувати на порушення синтезу та/або деградацію глікозаміногліканів, що впливає на властивості міжклітинного

матриксу, який підтримує цілісність та міцність тканин.

3. Аналіз кореляції показав, що: значення кореляції між ГАГ та фракціями I, II, III досить високі (від 0.695 до 0.747). Це свідчить про позитивний зв'язок між концентрацією глікозаміногліканів та їхніми фракціями у сироватці крові коней.

## Перспективи подальших досліджень

Отримані результати підкреслюють, що ожиріння має важливий вплив на біохімічний склад та структуру сполучної тканини у коней, що може спричинити різноманітні функціональні та молекулярні наслідки.

Напрями подальших досліджень: вивчити вплив ожиріння на синтез глікозаміногліканів в різних органах і тканинах коней; вивчити вплив ожиріння на активність ферментів, які беруть участь у пошкодженні сполучної тканини; вивчити вплив ожиріння на процеси відновлення пошкодженої сполучної тканини.

Результати таких досліджень можуть сприяти розробці ефективних методів лікування і профілактики захворювань сполучної тканини у коней, що пов'язані з ожирінням.

## Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

## References

- Giles, S. L., Nicol, C. J., Rands, S. A., & Harris, P. A. (2015). Assessing the seasonal prevalence and risk factors for nuchal crest adiposity in domestic horses and ponies using the Cresty Neck Score. *BMC Veterinary Research*, 11 (1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0327-7>
- Jocelyn, N. A., Harris, P. A., & Menzies-Gow, N. J. (2018). Effect of varying the dose of corn syrup on the insulin and glucose response to the oral sugar test. *Equine Veterinary Journal*, 50 (6), 836–841. <https://doi.org/10.1111/evj.12826>



3. Karikoski, N. P., McGowan, C. M., Singer, E. R., Asplin, K. E., Tulamo, R.-M., & Patterson-Kane, J. C. (2014). Pathology of natural cases of equine endocrinopathic laminitis associated with hyperinsulinemia. *Veterinary Pathology*, 52 (5), 945–956. <https://doi.org/10.1177/0300985814549212>
4. Longland, A. C., Barfoot, C., & Harris, P. A. (2016). Effects of grazing muzzles on intakes of dry matter and water-soluble carbohydrates by ponies grazing spring, summer, and autumn swards, as well as autumn swards of different heights. *Journal of Equine Veterinary Science*, 40, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.09.009>
5. Longland, A. C., Barfoot, C., & Harris, P. A. (2016). Efficacy of wearing grazing muzzles for 10 hours per day on controlling bodyweight in pastured ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*, 45, 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.04.015>
6. Marycz, K., Kornicka, K., Grzesiak, J., Śmieszek, A., & Szałpka, J. (2016). Macroautophagy and selective mitophagy ameliorate chondrogenic differentiation potential in adipose stem cells of equine metabolic syndrome: new findings in the field of progenitor cells differentiation. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2016/3718468>
7. Menzies-Gow, N. J., Harris, P. A., & Elliott, J. (2016). Prospective cohort study evaluating risk factors for the development of pasture-associated laminitis in the United Kingdom. *Equine Veterinary Journal*, 49 (3), 300–306. <https://doi.org/10.1111/evj.12606>
8. Morgan, R. A., Beck, K. R., Nixon, M., Homer, N. Z. M., Crawford, A. A., Melchers, D., Houtman, R., Meijer, O. C., Stomby, A., Anderson, A. J., Upreti, R., Stimson, R. H., Olsson, T., Michoel, T., Cohain, A., Ruusalepp, A., Schadt, E. E., Björkregren, J. L. M., Andrew, R., Kenyon, C. J., Hadoke, P. W. F., Odermatt, A., Keen, J. A., & Walker, B. R. (2017). Carbonyl reductase 1 catalyzes 20 $\beta$ -reduction of glucocorticoids, modulating receptor activation and metabolic complications of obesity. *Scientific Reports*, 7 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10410-1>
9. Morgan, R. A., Keen, J. A., Homer, N., Nixon, M., McKinnon-Garvin, A. M., Moses-Williams, J. A., Davis, S. R., Hadoke, P. W. F., & Walker, B. R. (2018). dysregulation of cortisol metabolism in equine pituitary pars intermedia dysfunction. *Endocrinology*, 159 (11), 3791–3800. <https://doi.org/10.1210/en.2018-00726>
10. Potter, S., Bamford, N., Harris, P., & Bailey, S. (2017). Incidence of laminitis and survey of dietary and management practices in pleasure horses and ponies in south-eastern Australia. *Australian Veterinary Journal*, 95 (10), 370–374. <https://doi.org/10.1111/avj.12635>
11. Reynolds, A., Keen, J. A., Fordham, T., & Morgan, R. A. (2019). Adipose tissue dysfunction in obese horses with equine metabolic syndrome. *Equine Veterinary Journal*, 51 (6), 760–766. <https://doi.org/10.1111/evj.13097>
12. Robin, C. A., Ireland, J. L., Wylie, C. E., Collins, S. N., Verheyen, K. L. P., & Newton, J. R. (2014). Prevalence of and risk factors for equine obesity in Great Britain based on owner-reported body condition scores. *Equine Veterinary Journal*, 47 (2), 196–201. <https://doi.org/10.1111/evj.12275>
13. Robles, M., Nouveau, E., Gautier, C., Mendoza, L., Dubois, C., Dahirel, M., Lagofun, B., Aubrière, M.-C., Lejeune, J.-P., Caudron, I., Guenon, I., Viguié, C., Wimel, L., Bouraima-Lelong, H., Serteyn, D., Couturier-Tarrade, A., & Chavatte-Palmer, P. (2018). Maternal obesity increases insulin resistance, low-grade inflammation and osteochondrosis lesions in foals and yearlings until 18 months of age. *PLoS ONE*, 13 (1), e0190309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190309>
14. Santillana, N., Astudillo-Guerrero, C., D'Espessailles, A., & Cruz, G. (2023). White adipose tissue dysfunction: pathophysiology and emergent measurements. *Nutrients*, 15 (7), 1722. <https://doi.org/10.3390/nu15071722>
15. Wallis, N., & Raffan, E. (2020). The genetic basis of obesity and related metabolic diseases in humans and companion animals. *Genes*, 11 (11), 1378. <https://doi.org/10.3390/genes11111378>
16. Leontieva, F. S., Riabkova, L. P., Kibkalo, D. V., Tuliakov, V. O., Tymoshenko, O. P., Filipenko, V. A., & Kartashov, M. I. (2006). Patent No. 29198. U.A. *Sposib vyznachennia fraktsii sulfatovanykh heksozaminohlikaniv*. Retrieved from: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/311637/> [in Ukrainian]
17. Shteinberh, O. P., & Dotsenko, Ya. N. (1962). Opredelenie glikoproteidov v syvorotke krovi. *Vrachebnoe Delo*, 12, 43–45. [in Russian]
18. Németh-Csóka, M. (1961). A turbidimetric method for the determination of chondroitin sulphuric acid by Rivanol. *Biochimica et Biophysica Acta*, 50 (3), 585–588. [https://doi.org/10.1016/0006-3002\(61\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0006-3002(61)90023-3)
19. Tymoshenko, O. P., Voronina, L. M., Kravchenko, V. M., Kravchenko, H. B., Naboka, O. I., Savchenko, L. H., Sakharova, T. S., Seniuk, I. V., Filatova, V. M., Shono, N. A., Zahaiko, A. L., & Leontieva, F. S. (2003). *Klinichna biokhimiia: navchalnyi posibnyk*. Kharkiv: Zoloti storinky [in Ukrainian]
20. Leontieva, F. S., Tymoshenko, O. P., Kartashov, M. I., Yushchenko, H. O., Kibkalo, D. V., Tuliakov, V. O., & Borovkov, S. B. (2006). Patent No. 28147. U.A. *Sposib vyznachennia hlikozaminohlikaniv*. Retrieved from: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/310753/> [in Ukrainian]
21. Ricard-Blum, S. (2017). Protein–glycosaminoglycan interaction networks: Focus on heparan sulfate. *Perspectives in Science*, 11, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.10.004>

#### ORCID

- S. Borovkov  <https://orcid.org/0000-0003-3021-2410>  
 O. Timoshenko  <https://orcid.org/0000-0001-9696-1698>  
 V. Borovkova  <https://orcid.org/0000-0002-3422-9394>



2023 Borovkov S. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.