

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Естественные науки. 2023. № 3 (12). С. 4–11.

Yestestvennyye nauki = Natural Sciences. 2023; 3 (12): 4–11 (In Russ.)

Научная статья

УДК 57.054

doi 10.54398/1818507X_2023_3_4

СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫЙ СТАТУС ПЛАЗМЫ САМОК КРЫС НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭСТРАЛЬНОГО ЦИКЛА

Брыкова А. Н.^{1✉}, Кулешова Ольга Николаевна², Яковенкова Людмила Александровна³, Васильев А. В.⁴, Евдошенко А. А.⁵

^{1–5}Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева,
г. Астрахань, Россия

¹anastasia.brykova@yandex.ru✉

Аннотация. Уровень перекисного окисления липидов и белков в крови отражает общеорганизменный уровень свободнорадикального баланса, и зависит от различных параметров. Женский организм подвержен существенным гормональным, поведенческим и метаболическим изменениям в динамике эстрального цикла, однако до сих пор в научной литературе встречаются работы, не учитывающие эту цикличность при изучении свободнорадикальных процессов. В приведенном в данной статье исследовании мы изучали уровень перекисного окисления липидов, в плазме самок крыс на стадиях эструса и диэструса, изменения определяли по уровню ТБК-реагентов, диеновых и кетотриеновых конъюгатов, оснований Шиффа, уровень продуктов окислительной модификации белковых молекул.

Ключевые слова: свободнорадикальное окисление, антиоксидантная защита, эстральный цикл, плазма крови, самки, крысы, физиологическая норма.

Для цитирования: Брыкова А. Н., Кулешова О. Н., Яковенкова Л. А. Васильев А. В., Евдошенко А. А. Уровень свободнорадикального гомеостаза самок крыс на разных стадиях эстрального цикла. // Естественные науки. 2023. № 3 (12). С. 4–11. https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_2_4.

FREE RADICAL PLASMA STATUS OF FEMALE RATS AT DIFFERENT STAGES OF THE ESTROUS CYCLE

Brykova Anastasiya N.^{1✉}, Kuleshova Olga N.², Yakovenkova Lyudmila A.³, Vasiliev A. V.⁴, Evdoshenko A. A.⁵

^{1–5}Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

¹anastasia.brykova@yandex.ru✉

Abstract. The level of lipid and protein peroxidation in the blood reflects the general organizational level of free radical balance, and depends on various parameters. The female body is subject to significant hormonal, behavioral and metabolic changes in the dynamics of the estrous cycle, however, there are still works in the scientific literature that do not take this cyclicity into account when studying free radical processes. In the study presented in this article, we studied the level of lipid peroxidation in the plasma of female rats at the estrus and diestrus stages, changes were determined by the level of TBK reagents, diene and ketotriene conjugates, Schiff bases, the level of products of oxidative modification of protein molecules.

Keywords: free radical oxidation, antioxidant protection, estral cycle, blood plasma, females, rats, physiological norm.

For citation: Brykova A. N., Kuleshova O. N., Yakovenkova L. A. Vasiliev A. V., Evdoshenko A. A. The level of free radical homeostasis of female rats at different stages of the estrous cycle. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2023; 3 (12): 4–11. https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_2_4.

Введение. Циклические изменения в физиологии и поведении самок млекопитающих, опосредованные гормональными колебаниями, воздействуют на репродуктивные органы и мозг [12], влияют на поведение, память [19] и метаболические процессы [7]. В основе ведущих метаболических процессов человека лежат окислительно-восстановительные реакции. Среди них особую роль играют свободнорадикальные реакции.

Процессы СРО занимают центральное место в метаболизме клетки. Они служат источником энергии, необходимой для жизнедеятельности клетки и всего организма в целом [8]. Процессы свободнорадикального окисления липидов являются одним из важных регуляторов метаболизма углеводов, белков, липидов, нуклеиновых кислот, лежащего в основе пластического и энергетического обеспечения функций клетки и организма в целом. Кроме того, они являются лимитирующим звеном регуляции морфофункционального состояния биологических мембран, их проницаемости и внутриклеточного гомеостаза.

Уровень свободнорадикального гомеостаза и антиоксидантной защиты в значительной степени зависит от пола, а у самок он колеблется в зависимости от стадий полового цикла. К сожалению, из-за цикличности гормональной системы малое количество исследователей уделяет внимание работе с самками, а работая с ними часто игнорируют эти особенности [15; 18]. Таким образом, целью работы стало изучение изменения ряда параметров свободнорадикального гомеостаза на общеорганизменном уровне у самок крыс в зависимости от стадий эстрального цикла.

Материалы и методы исследования. Исследования проведены на 16 белых беспородных крысах самках. Эстральный цикл самок крыс является адекватной экспериментальной моделью при изучении особенностей протекания репродуктивных процессов в норме и патологии [13]. В исследованиях показана высокая степень аналогичности механизмов функционирования репродуктивной сферы самок крыс и женского организма, что отражается в идентичности динамики уровней гонадотропинов.

Животные содержались в виварии в стандартных лабораторных условиях, при свободном доступе к воде и пище. Все работы с лабораторными животными проводили с соблюдением принципов биоэтики (Международные рекомендации по проведению медико-биологических исследований с использованием животных, 1993) и Правил лабораторной практики в РФ (2003). На четвертом месяце постнатального онтогенеза у половозрелых самок нелинейных белых крыс стандартным способом определяли стадии эстрального цикла [3]. В результате были сформированы две экспериментальные группы животных в зависимости от стадии эстрального цикла: эструс и диэструс, по 8 животных в каждой. У наркотизированных этаминалом натрия (внутрибрюшинно в дозе 4 мг на 100 г массы тела) самок крыс производили декапитацию, кровь собирали в гепаринизированные пробирки, центрифугировали, выделяли плазму. В плазме определяли уровень перекисного окисления липидов по уровню ТБК-реагентов [16], диеновых и кетотриеновых конъюгатов, оснований Шиффа по методу И. А. Волчегорского и соавт [4]. Принцип последнего основан на установлении содержания продуктов ПОЛ в крови по поглощению липидным экстрактом монохроматического светового потока в ультрафиолетовой области спектра. Количество диеновых конъюгатов (ДК), триеновых конъюгатов (ТК) и оснований Шиффа (ОШ) экстрагируются в гептан-изопропанольных фракциях. Так как в гептане экстрагируются в основном нейтральные липиды, а в изопропаноле — фосфолипиды, гептановая фракция свидетельствует об активности ПОЛ в нейтральных липидах, а изопропанольная — в фосфолипидах.

Уровень продуктов окислительной модификации белковых молекул (ОМБ) устанавливали по методу Е.Е. Дубининой и соавт. [5], регистрировали уровень продуктов ОМБ при 270 — алифатические денитрофенилгидразоны нейтрального характера, 363 — алифатические кетонденитрофенилгидразоны нейтрального характера и 430 нм — алифатические кетонденитрофенилгидразоны основного характера.

Активность антиоксидантной системы в плазме оценивали по следующим показателям: активности глутатиона [2; 14], церулоплазмина [11], супероксиддисмутазы (СОД) по реакции аутоокисления адреналина [10], каталазы [6] и глутатионпероксидазы [9]. Для перерасчёта уровней модифицированных белков и СОД на грамм белка, определяли общий белок сыворотки методом Лоури. Пробы спектрофотометрировали на цифровом UV-спектрофотометре PD-303UV (“Arel”, Япония).

Статистическая обработка полученных данных производилась с применением непараметрического критерия Манна – Уитни, так как объём выборок не позволяет проверить соответствие выборки закону нормального распределения.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотренные параметры свободнорадикального окисления в крови самок крыс значительно изменились в зависимости от стадии эстрального цикла (табл. 1). При рассмотрении отдельных параметров ОМБ, их уровень оставался неизменным, однако

расчёт суммарного уровня ОМБ показал снижение параметра на стадии эструса ($p < 0,05$).

Уровень свободнорадикального окисления триацилглицеридов не зависел от стадии эстрального цикла. На стадии эструса уменьшился уровень начальных и конечных продуктов ПОЛ фосфолипидов плазмы крови ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно) и уровень промежуточных продуктов перекисного окисления липидов ($p < 0,01$).

Изменился так же уровень вторичного продукта ПОЛ — МДА: на стадии эструса отмечено снижение его концентрации ($p < 0,05$).

Таким образом, все рассмотренные параметры свободнорадикального окисления на стадии эструса были смещены в сторону снижения их уровня. При этом липиды оказались более чувствительными к смене гормонального фона, что проявилось в снижении на стадии эструса первичных, вторичных и конечных продуктов ПОЛ. Это может быть связано с динамикой половых стероидных гормонов, так как кроме антиоксидантных свойств, эстроген обладает функцией изменять липидный профиль крови.

Таблица 1 — Свободнорадикальное окисления в плазме самок крыс на разных стадиях эстрального цикла, $M \pm m$

Показатели		Диэструс, $n = 8$	Эструс, $n = 8$	↓↑
ОМБ, нмоль на мг белка в 1 мл	270	0,682 ± 0,0627	0,657 ± 0,0746	
	363	1,046 ± 0,1310	0,823 ± 0,0909	
	430	1,337 ± 0,2737	0,815 ± 0,1771	
	Сумма ОМБ	4,160 ± 0,4257	3,236 ± 0,3639*	↓
Продукты СРО триацилглицеридов, ед. инд. окисления	Диеновые Конъюгаты	0,493 ± 0,0385	0,518 ± 0,0123	
	Кетотриены и сопр. триены	0,111 ± 0,0098	0,131 ± 0,0111	
	Основания Шиффа	0,034 ± 0,0039	0,036 ± 0,0038	
Продукты СРО фосфолипидов Ед. инд. окисления	Диеновые конъюгаты	0,272 ± 0,0201	0,107 ± 0,0139**	↓
	Кетотриены и сопр. триены	0,484 ± 0,0458	0,466 ± 0,0507	
	Основания Шиффа	0,048 ± 0,0055	0,032 ± 0,0038*	↓
ТБК-реагенты, мкмоль/л		3,29 ± 0,121	2,06 ± 0,130**	↓
<i>Примечание: *$p < 0,05$, **$p < 0,01$ — статистически достоверная разница между стадиями эструса и диэструса (критерий Манна — Уитни).</i>				

В противовес свободнорадикальным процессам в организме существует антиоксидантная система, представленная в первую очередь системой антиоксидантных ферментов, а также неферментативными антиоксидантами. Уровень активности антиоксидантной системы напрямую зависит от активации окислительных процессов, и увеличивается вслед росту СРО.

На разных стадиях эстрального цикла самок крыс в плазме произошло изменение активности и антиоксидантной системы. Так, нами было отмечено

уменьшение уровня церулоплазмينا ($p < 0,01$) и глутатионпероксидазы ($p < 0,01$) и рост активности каталазы ($p < 0,05$) на стадии эструса.

Таблица 2 — Антиокислительная активность в плазме самок крыс на разных стадиях эстрального цикла, $M \pm m$

Показатель	Диэструс, n = 8	Эструс, n = 8	↓↑
Глутатион, ммоль/л	1,46 ± 0,089	1,49 ± 0,039	
Глутатионпероксидаза, мкмоль/мл	0,321 ± 0,0419	0,158 ± 0,0219**	↓
СОД, А у.е./мин.·мг белка	9,84 ± 0,523	9,81 ± 0,442	
Церулоплазмин, у. е.	0,509 ± 0,0294	0,222 ± 0,0012**	↓
Каталаза, Мкат/л·10 ³	247,1 ± 24,5	396,5 ± 36,35*	↑
<i>Примечание: *p < 0,05, **p < 0,01 — статистически достоверная разница между стадиями эструса и диэструса (критерий Манна — Уитни).</i>			

Между процессами СРО и ограничивающими их реакциями антиоксидантной защиты (АОЗ) существует динамическая взаимосвязь. Отсутствие изменений активности глутатиона можно объяснить его тесной связью с окислительной модификацией белковых молекул [17] и отсутствием изменений в уровне продуктов ОМБ в динамике эстрального цикла в нашей работе. Снижение интенсивности процессов ПОЛ и рост уровня стероидных гормонов, обладающих антиокислительными свойствами, возможно, привел к снижению активности ферментов глутатионпероксидазы и церулоплазмينا. На этом фоне интерес вызывает рост каталазной активности. Фермент каталаза наряду с глутатионпероксидазой инактивирует перекись водорода, последняя, в свою очередь, напрямую связана с инактивацией липидных пероксидов.

Заключение. Проведя исследование, мы убедились в том, что общеорганизменный уровень свободнорадикального баланса отражается и зависит от активности антиоксидантной защиты и уровня перекисного окисления липидов и белков в крови.

Общеорганизменный уровень СРО, характерный для плазмы, отражает весь комплекс изменений, происходящих в организме. Проведя исследование, мы убедились, что редокс-баланс плазмы крови, в значительной степени меняется на разных стадиях эстрального цикла. На стадии эструса отмечена общая тенденция к снижению уровня свободнорадикального окисления, которая, однако, имеет некоторую специфику. Отмечены значительные снижения уровней перекисного окисления структурных фосфолипидов и отсутствие изменений уровня перекисного окисления резервных нейтральных липидов. Рассмотренные отдельные продукты ОМБ показали только тенденциозное снижение их уровня, расчёт суммарного ОМБ так же показал снижение параметра на стадии эструса. Активность рассмотренных звеньев антиоксидантной системы характеризовалась разнонаправленными изменениями: снижением уровня глутатионпероксидазы, церулоплазмينا и ростом уровня активности каталазы. Таким образом, в данной статье мы подчеркиваем необходимость исследования женского организма с учётом цикличности его работы.

Список литературы

1. Бабичев, В. Н. Нейроэндокринная регуляция репродуктивной системы / В. Н. Бабичев. — Пушино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1995. — С. 227.
2. Будников, Г. К. Электрохимическое определение глутатиона / Г. К. Будников, Г. К. Зиятдинова, Я. Р. Валитова // Журнал аналитической химии. — 2004. — Т. 59, № 6. — С. 645–648.
3. Владимирская, Т. Э. Определение фаз эстрального цикла белых крыс по клеточному составу влагалищных мазков / Т. Э. Владимирская, И. А. Швед, С. Г. Криворот и др. // Вести национальной академии наук Белоруссии. Серия биологических наук. — 2011. — № 4. — С. 88–91.
4. Волчегорский, И. А. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактов крови / И. А. Волчегорский, А. Г. Налимов, Б. Г. Яровинский, Р. И. Лившиц // Вопросы медицинской химии. — 1989. — Т. 35, № 3. — С. 127–131.
5. Дубинина, Е. Е. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения / Е. Е. Дубинина, С. О. Бурмистров, Д. А. Ходов, И. Г. Поротов // Вопросы медицинской химии. — 1999. — Т. 45, № 1. — С. 47–54.
6. Королюк, М. А. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майорова [и др.] // Лабораторное дело. — 1988. — № 1. — С. 16–19.
7. Локтаева, А. В. Характеристика эстрального цикла у крыс и значение кисспептидергической системы в его регуляции / А. В. Локтаева, В. И. Беляков // Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета. — 2016. — № 2 (9).
8. Луцкий, М. А. Свободнорадикальное окисление липидов и белков – универсальный процесс жизнедеятельности организма / М. А. Луцкий, Т. В. Куксова, М. А. Смелянец, Ю. П. Лушникова // Успехи современного естествознания. — 2014. — № 12–1. — С. 24–28.
9. Разыграев, А. В. Методика определения активности глутатионпероксидазы мозга мышей и ее применение в фармакологическом эксперименте / А. В. Разыграев, А. Д. Юшина, И. А. Титович // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. — 2018. — Т. 165, № 2. — С. 261–264.
10. Сирота, Т. В. Использование нитросинего тетразолия в реакции автоокисления адреналина для определения активности супероксиддисмутазы / Т. В. Сирота // Биомедицинская химия. — 2013. — Т. 59, № 4. — С. 399–410.
11. Тен, Э. В. Экспресс-метод определения активности церулоплазмينا в сыворотке крови / Э. В. Тен // Лабораторное дело. — 1981. — № 6. — С. 334–335.
12. Clemens, A. M. Estrus-Cycle Regulation of Cortical Inhibition / A. M. Clemens, C. Lenschow, P. Beed, L. Li, R. Sammons, R. K. Naumann, H. Wang, D. Schmitz, M. Brecht // Curr Biol. — 2019. — № 29, vol. 4. — P. 605–615.
13. Cora, M. C. Vaginal Cytology of the Laboratory Rat and Mouse: Review and Criteria for the Staging of the Estrous Cycle Using Stained Vaginal Smears / M. C. Cora, L. Kooistra, G. Travlos // Toxicol. Pathol. — 2015. — Vol. 43 (6). — P. 776–793.
14. Ellman G. L. Tissue sulfhydryl groups / G. L. Ellman // Arch. Biochem. Biophys. — 1959. — Vol. 82. — P. 70–81.
15. Huerta-Cervantes M. Gestational Diabetes Triggers Oxidative Stress in Hippocampus and Cerebral Cortex and Cognitive Behavior Modifications in Rat Offspring: Age- and Sex-Dependent Effects / M. Huerta-Cervantes, D. J Peña-Montes, R. Montoya-Pérez // Nutrients. — 2020, Jan. — № 31–12 (2). — P. 376.
16. Mihara, M. Thiobarbituric acid value on fresh homogenate of rat as a parameter of lipid peroxidation in aging, CCl₄ intoxication, and vitamin E deficiency / M. Mihara // Biochemical medicine. — 1980. — Vol. 23. — P. 302–311.

17. Piroddi, M. Oxidatively-modified and glycated proteins as candidate pro-inflammatory toxins in uremie and dialysis patients / M. Piroddi, I. Depunzio, V. Calabrese // *Amino Acids*. — 2007. — Vol. 32, № 4. — P. 573–592.

18. Ugbaja, R. N. Lycopene suppresses palmitic acid-induced brain oxidative stress, hyperactivity of some neuro-signalling enzymes, and inflammation in female Wistar rat / R. N. Ugbaja, A. S. James, E. I. Ugwor // *Sci Rep*. — 2021, Jul. — № 22–11 (1). — P. 15038.

19. Sundstrom Poromaa, I. Menstrual cycle influence on cognitive function and emotion processing-from a reproductive perspective/ Sundstrom Poromaa I., Gingnell M. // *Front. Neurosci*. — 2014. — № 8. — P. 380.

References

1. Babichev, V. N. *Neyroendokrinnaya regulyatsiya reproduktivnoy sistemy = Neuroendocrine regulation of the reproductive system*. Pushchino: ONTI PNC RAN; 1995: 227.

2. Budnikov G. K., Ziyatdinova, G. K., Valitova, Ya. R. Elektrohimicheskoe opredelenie glutationa. *Zhurnal analiticheskoy khimii = Journal of Analytical Chemistry*. 2004; 59 (6): 645–648.

3. Vladimirskaia, T. E., Shved I. A., Krivorot S. G. et al. Opredelenie faz estral'nogo cikla belyh krysov po kletochnomu sostavu vlagalishchnykh mazkov. *Vesti natsionalnoy akademii nauk Belorussii. Seriya biologicheskikh nauk. = News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series "Biological Sciences"*. 2011; 4: 88–91.

4. Volchegorskiy, I. A., Nalimov, A. G., Yarovinskiy, B. G., Livshits, R. I. Sopostavlenie razlichnykh podkhodov k opredeleniyu produktov perekisnogo okisleniya lipidov v heptanizopropanolnykh ekstraktov krovi. *Voprosy meditsinskoy khimii = Questions of medicinal chemistry*. 1989; 35(3): 127–131.

5. Dubinina, E. E., Burmistrov, S. O., Khodov, D. A., Porotov, I. G. Okislitel'naya modifikatsiya belkov syvorotki krovi cheloveka, metod ee opredeleniya. *Voprosy meditsinskoy khimii = Questions of medicinal chemistry*. 1999; 45(1): 47–54.

6. Korolyuk, M. A., Ivanova, L. I., Mayorova, I. G. [et al.]. Metod opredeleniya aktivnosti katalazy. *Laboratornoe delo = Laboratory work*. 1988; 1: 16–19.

7. Loktaeva, A. V., Belyakov, V. I. Kharakteristika estralnogo tsikla u krysov i znachenie kisseptidergicheskoy sistemy v ego regulyatsii. *Vestnik molodykh uchenykh i spetsialistov Samarskogo universiteta = Bulletin of young scientists and specialists of Samara University*. 2016; 2 (9).

8. Lutskiy, M. A., Kuksova, T. V., Smelyanets, M. A., Lushnikova, Yu. P. Svobodnoradikalnoe okislenie lipidov i belkov – universalnyy protsess zhiznedeyatel'nosti organizma. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya = Advances of modern natural science*. 2014; 12–1: 24–28.

9. Razygraev, A. V., Yushina, A. D., Titovich, I. A. Metodika opredeleniya aktivnosti glutationperoksidazy mozga myshey i ee primeneniye v farmakologicheskom eksperimente. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny = Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2018; 165 (2): 261–264.

10. Sirota, T. V. Ispolzovanie nitrosinogo tetrazoliya v reaktsii avtookisleniya adrenalina dlya opredeleniya aktivnosti superoksidismutazy. *Biomeditsinskaya khimiya = Biomedical chemistry*. 2013; 59 (4): 399–410.

11. Ten, E. V. Ekspress-metod opredeleniya aktivnosti tseruloplazmina v syvorotke krovi. *Laboratornoe delo = Laboratory work*. 1981; 6: 334–335.

12. Clemens, A. M., Lenschow, C., Beed, P., Li, L., Sammons, R., Naumann, R. K., Wang, H., Schmitz, D., Brecht, M. Estrus-Cycle Regulation of Cortical Inhibition. *Curr Biol*. 2019; 29 (4): 605–615.

13. Cora, M. C., Kooistra, L., Travlos G. Vaginal Cytology of the Laboratory Rat and Mouse: Review and Criteria for the Staging of the Estrous Cycle Using Stained Vaginal Smears. *Toxicol. Pathol*. 2015; 43 (6): 776–793.

14. Ellman, G. L. Tissue sulfhydryl groups. *Arch. Biochem. Biophys.* 1959; 82: 70–81.
15. Huerta-Cervantes, M., Peña-Montes, D. J, Montoya-Pérez, R. Gestational Diabetes Triggers Oxidative Stress in Hippocampus and Cerebral Cortex and Cognitive Behavior Modifications in Rat Offspring: Age- and Sex-Dependent Effects. *Nutrients.* 2020, Jan; 31–12 (2): 376.
16. Mihara, M. Thiobarbituric acid value on fresh homogenate of rat as a parameter of lipid peroxidation in aging, CCl₄ intoxication, and vitamin E deficiency. *Biochemical medicine.* 1980; 23: 302–311.
17. Piroddi, M., Depunzio, I., Calabrese, V. Oxidatively-modified and glycated proteins as candidate pro-inflammatory toxins in uremie and dialysis patients. *Amino Acids.* 2007; 32 (4): 573–592.
18. Ugbaja, R. N., James, A. S., Ugwor, E. I. Lycopene suppresses palmitic acid-induced brain oxidative stress, hyperactivity of some neuro-signalling enzymes, and inflammation in female Wistar rat. *Sci Rep.* 2021, Jul; 22–11 (1): 15038.
19. Sundstrom Poromaa, I., Gingnell, M. Menstrual cycle influence on cognitive function and emotion processing-from a reproductive perspective. *Front. Neurosci.* 2014; 8: 380.

Информация об авторах

Брыкова А. Н. — студент;
Кулешова О. Н. — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;
Яковенкова Л. А. — кандидат биологических наук, доцент;
Васильев А. В. — студент;
Евдошенко А. А. — студент.

Information about the authors

Brykova A. N. — student;
Kuleshova O. N. — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher;
Yakovenkova L. A. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;
Vasiliev A. V. — student;
Evdoshenko A. A. — student.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.09.2023; одобрена после рецензирования 27.09.2023; принята к публикации 29.09.2023.

The article was submitted 25.09.2023; approved after reviewing 27.09.2023; accepted for publication 29.09.2023.