

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-3-1225

EDN: BAOVMS

УДК 612.1:616.151:636.034



Научная статья

ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА И ИНГИБИТОРА ПРОТЕИНКИНАЗЫ С НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЕРМАТОЗОИДОВ БЫКОВ

*М.Н. Иващенко, А.В. Дерюгина, А.А. Белов,
П.С. Игнатьев, М.И. Латушко*

Аннотация

Обоснование. Исследования по применению молекулярного водорода в качестве криопротектора для сперматозоидов крупного рогатого скота продемонстрировали положительные результаты, отмечено повышение подвижности и жизнеспособности клеток, стабилизация их мембран. Несмотря на это, механизмы действия молекулярного водорода на сперматозоиды остаются не до конца выясненными.

Цель. Исследование механизмов воздействия молекулярного водорода и ингибитора протеинкиназы С – стауроспорина на функциональную активность сперматозоидов крупного рогатого скота.

Материалы и методы. Объектом исследования послужили образцы спермы голштинизированных быков, подвергнутые различной обработке. Использовали сперму, разбавленную стандартным разбавителем «BioXcell»; сперму, разбавленную разбавителем «BioXcell», обогащенным молекулярным водородом; сперму, инкубированную с использованием стауроспорина – ингибитора протеинкиназы С; сперму, обработанную молекулярным водородом и последующей инкубацией стауроспорином. Для каждого образца в спермиях проведен анализ кинетических показателей, энергетического статуса и интенсивности протекания свободнорадикальных процессов.

Результаты. В присутствии ингибитора протеинкиназы С – стауроспорина отмечали снижение метаболических и кинетических показателей сперматозоидов, что подтверждает непосредственное участие протеинкиназы С в поддержании структурно-функциональной целостности и активности сперматозоидов. Молекулярный водород в присутствии стауроспорина положи-

тельно влиял на исследуемые параметры спермиев быков, следовательно в трансдукции индуцируемых молекулярным водородом сигналов, помимо протеинкиназы С, задействованы и другие механизмы, которые нечувствительные к стауроспорину.

Заключение. Идентификация механизмов, детерминирующих стимулирующие эффекты молекулярного водорода на сперматозоиды быков, позволит улучшить параметры свежей спермы и технологию криоконсервации спермы.

Ключевые слова: молекулярный водород; сперматозоиды; стауроспорин; протеинкиназа С; малоновый диальдегид; подвижность; АТФ

Для цитирования. Иващенко, М. Н., Дерюгина, А. В., Белов, А. А., Игнатьев, П. С., & Латушко, М. И. (2025). Влияние молекулярного водорода и ингибитора протеинкиназы С на функциональные показатели сперматозоидов быков. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 43-55. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1225>

Original article

THE EFFECT OF MOLECULAR HYDROGEN AND PROTEINKINASE C INHIBITOR ON THE FUNCTIONAL PARAMETERS OF BOVINE SPERM

*M.N. Ivashchenko, A.V. Deryugina, A.A. Belov,
P.S. Ignatiev, M.I. Latushko*

Abstract

Background. Studies on the use of molecular hydrogen as a cryoprotector for cattle spermatozoa have shown positive results, an increase in cell mobility and viability, and stabilization of their membranes have been noted. Despite this, the mechanisms of action of molecular hydrogen on spermatozoa remain unclear.

Purpose. Investigation of the mechanisms of action of molecular hydrogen and the inhibitor of protein kinase C – staurosporin on the functional activity of bovine sperm.

Materials and methods. The object of the study was semen samples from Holsteinized bulls, subjected to various treatments. Sperm diluted with a standard diluent “BioXcell” was used; sperm diluted with a diluent “BioXcell” enriched with molecular hydrogen; sperm incubated using staurosporin – a protein kinase C inhibitor; sperm treated with molecular hydrogen and subsequent incubation with

staurosporin. For each sample in the sperm, an analysis of kinetic parameters, energy status and intensity of free radical processes was carried out.

Results. The inhibitor of protein kinase C – staurosporin reduced the metabolic and kinetic parameters of spermatozoa, which confirms the direct participation of protein kinase C in maintaining the structural and functional integrity and activity of spermatozoa. Molecular hydrogen in the presence of staurosporin had a positive effect on the studied parameters of bovine sperm, therefore, in addition to protein kinase C, other mechanisms that are insensitive to staurosporin are involved in the transduction of molecular hydrogen-induced signals.

Conclusion. Identification of the mechanisms determining the stimulating effects of molecular hydrogen on bull sperm will improve the parameters of fresh sperm and the technology of cryopreservation of bull sperm.

Keywords: molecular hydrogen; spermatozoa; staurosporin; protein kinase C; malondialdehyde; motility; ATP

For citation. Ivashchenko, M. N., Deryugina, A. V., Belov, A. A., Ignatiev, P. S., & Latushko, M. I. (2025). The effect of molecular hydrogen and protein kinase C inhibitor on the functional parameters of bovine sperm. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 43-55. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1225>

Введение

Криоконсервация спермы является важным инструментом репродуктивной биотехнологии, но процессы замораживания и оттаивания оказывают на сперматозоиды негативное влияние [6; 7; 9; 16].

Во время замораживания и последующего оттаивания в сперматозоидах наблюдаются изменения осмотического баланса, окислительного статуса и образование внутриклеточных кристаллов льда. Все эти процессы значительно снижают фертильность спермы, способность спермиев к оплодотворению и качество эмбрионов [1; 13; 17].

В настоящее время разработано множество криопротекторов, призванных повысить выживаемость спермиев после криоконсервации. Согласно нашим исследованиям, одним из перспективных методов оптимизации криосред является включение в их состав молекулярного водорода. Результаты наших исследований показали, что введение молекулярного водорода в среду для криоконсервации сперматозоидов приводит к изменению метаболических процессов, увеличению подвижности и жизнеспособности клеток, стабилизации мембранных структур. Несмотря на это, точные механизмы действия молекулярного водорода на сперматозоиды крупного рогатого скота до конца не изучены и требуют дальнейшего исследования [4; 5; 18].

Оплодотворению между сперматозоидом и яйцеклеткой предшествует акросомная реакция, капацитация и связывание спермиев с блестящей оболочкой яйцеклетки. Известно, что протеинкиназа С (PKC) участвует в регуляции капацитации, в связывании с блестящей оболочкой, регулирует течение акросомной реакции [10].

В сперматозоидах быков протеинкиназа С расположена преимущественно в верхней области акросомы и в основной части хвоста [11; 12; 20].

Стауроспорин является ингибиторов протеинкиназы С по смешанному механизму [10]. Стауроспорин связывается с комплексом протеинкиназа $\text{Ca}^{2+}\text{Mg-ATP}$ +гистон III-S, который не может распадаться на продукты [21].

Цель нашего исследования – исследование механизмов воздействия молекулярного водорода и ингибитора протеинкиназы С – стауроспорина на функциональную активность сперматозоидов крупного рогатого скота.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в ООО Племпредприятие «Нижегородское». В исследовании были использованы образцы спермы 20 чёрно-пёстрых голштиinizированных быков в возрасте трех лет, весом от 900-1100 кг. Образцы спермы были получены непосредственно перед началом исследования. Все животные содержались в идентичных условиях, соответствующих установленным нормам (ФГБНУ ФНЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста). Сбор спермы осуществлялся согласно Национальной технологии замораживания и использования генетического материала племенных быков-производителей [8].

В исследовании использовался семенной материал с минимальным содержанием аномальных клеток. Для предотвращения холодового шока сперматозоидов все манипуляции осуществлялись с использованием термостоллика. Эякулят разбавляли синтетической средой «BioXcell» (IMV Technologies, L'Agile, Франция). Для оценки влияния молекулярного водорода на сперматозоиды в состав разбавителя «BioXcell» в качестве криопротектора добавляли молекулярный водород в концентрации 1,2 мг/л. Молекулярный водород получали используя установку Бозон-Н-Н₂/O₃.

Для отделения сперматозоидов от семенной плазмы, сперму дважды центрифугировали при ускорении 300g в течение десяти минут.

В сперматозоидах определяли интенсивность протекания свободнорадикальных процессов путем определения в клетках концентрации малонового диальдегида (МДА) [3]. Оценку энергетического статуса проводили по концентрации внутриклеточного АТФ по методу И.Л. Виноградовой

и соавт. (1980) [2]. Ключевые показатели, определяющие фертильность сперматозоидов – процент общей подвижности и средняя скорость движения сперматозоидов, анализировали с помощью спермоанализатора «Био-ла АФС-500» НПФ БИОЛА (Россия).

Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: сперма, разбавленная разбавителем «BioXcell» (группа I, контроль); сперма, разбавленная разбавителем «BioXcell», обогащенным молекулярным водородом (группа II); сперма, инкубированная стауроспорином – ингибитором протеинкиназы C (группа III); сперма, обработанная молекулярным водородом и последующей инкубацией стауроспорином (группа IV). Использовали стауроспорин производства фирмы Sigma (США). Концентрация стауроспорина 10 нг/мл использована на основании наших предыдущих результатов.

Для статистического анализа полученных данных применялась программа Statistica. Оценка достоверности результатов осуществлялась с использованием t-критерия Стьюдента. Уровень статистической значимости был установлен на уровне 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1 отражены данные экспериментов, где было оценено влияние исследуемых соединений на интенсивность окислительного стресса (МДА), энергетического метаболизма (АТФ) и кинетические показатели (подвижность и средняя скорость движения) спермиев крупного рогатого скота.

Таблица 1.

Влияние молекулярного водорода и стауроспорина на функциональные показатели сперматозоидов, (M±m)

Условия эксперимента	МДА, нМоль/мл	Содержание АТФ, мкмоль/л	Подвижность, %	Средняя скорость движения, мкм/сек
Группа I - контроль	0,61±0,32	0,79±0,09	82,51±5,95	85,62±3,54
Группа II - молекулярный водород	0,77±0,22	0,75±0,12	79,81±5,55	83,27±4,47
Группа III - стауроспорин	0,65±0,43	0,34±0,04 *	62,96±4,39 *	76,28±4,17 *
Группа IV - стауроспорин + молекулярный водород	0,58±0,29	0,54±0,11 *	70,28±5,42 *	81,43±4,16

«*» – статистически достоверные различия по сравнению с контрольной группой при уровне значимости, $p \leq 0,05$.

В контроле (группа I) содержание МДА в среднем составило $-0,61 \pm 0,32$ нМоль/мл, АТФ $-0,79 \pm 0,09$ мкмоль/л, подвижность $-82,51 \pm 5,95\%$, средняя скорость движения сперматозоидов $-85,62 \pm 3,54$ мкм/сек.

Из анализа данных, представленных в таблице 1, показано, что достоверных изменений анализируемых показателей между группой II и контролем не отмечено. Под влиянием молекулярного водорода содержание МДА в сперматозоидах составило $0,77 \pm 0,22$ нМоль/мл, уровень аденозинтрифосфата $-0,75 \pm 0,12$ мкмоль/л. Подвижность сперматозоидов составила $79,81 \pm 5,55\%$, средняя скорость движения сперматозоидов $-83,27 \pm 4,47$ мкм/сек.

Исследования с использованием ингибитора протеинкиназы С – стауроспорина (группа III) продемонстрировали достоверное уменьшение уровня АТФ в клетках на 57%. Также наблюдалось снижение подвижности и средней скорости движения сперматозоидов на 24% и 11% соответственно, по сравнению с контрольной группой ($p \leq 0,05$).

Наличие ингибирующего действия стауроспорина на метаболизм и кинетику сперматозоидов свидетельствует о том, что протеинкиназа С принимает непосредственное участие в функциональной активности сперматозоидов.

В IV группе клеток, которые были предварительно обработаны молекулярным водородом с последующей инкубацией стауроспорином наблюдались аналогичные группе III изменения энергетического метаболизма и кинетических показателей относительно контроля. Однако, эти изменения оказались менее выраженными, чем при действии стауроспорина на сперматозоиды. Содержание АТФ в клетках снижалось на 32 %, подвижность на 15 % ($p \leq 0,05$). Таким образом, эффект стауроспорина в присутствии молекулярного водорода снимался, это указывает на возможную роль протеинкиназы С в трансдукции молекулярным водородом процессов.

Заключение

Наши исследования выявили, что включение молекулярного водорода в разбавитель для спермы быков не оказывает отрицательного воздействия на подвижность и жизнеспособность сперматозоидов. Даже при блокировании протеинкиназы С молекулярный водород оказывал положительное влияние на спермии быков. Это указывает на то, что в передаче сигналов, индуцируемых молекулярным водородом, помимо протеинкиназы С, участвуют и другие механизмы, нечувствительные к стауроспорину.

Идентификация механизмов, детерминирующих стимулирующие эффекты молекулярного водорода на сперматозоиды быков, позволит улучшить параметры свежей спермы и технологию криоконсервации спермы быков.

В свете последних научных открытий в области изучения молекулярного водорода, представляется оправданным его внедрение в животноводство и ветеринарную медицину. Применение молекулярного водорода практически не сопровождается побочными эффектами, обладает высоким терапевтическим потенциалом и демонстрирует благоприятное воздействие на организм [14; 15; 19].

В свете современных тенденций в области биотехники размножения животных, приобретает особую важность задача расширения областей применения молекулярного водорода. Данный вопрос представляет собой актуальную проблему для ветеринарной медицины и для животноводства.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в полном соответствии с этическими нормами, установленными Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, участвующих в экспериментах или научных исследованиях (ETS №123, Страсбург, 1986), а также с требованиями Приказа Министерства Здравоохранения Российской Федерации № 708н от 28 августа 2010 года.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00205.

Список литературы

1. Антонов, М. П., Жигулина, В. В. (2012). Влияние биохимических изменений липидов сперматозоидов и спермоплазмы на фертильность эякулята. *Верхневолжский медицинский журнал*, (3), 47-50. EDN: <https://elibrary.ru/rcqnmh>
2. Виноградова, И. Л., Багрянцева, С. Ю., Дервиз, Г. В. (1980). Метод одновременного определения 2,3 ДФГ и АТФ в эритроцитах. *Лабораторное дело*, (7), 424-426.
3. Владимиров, Ю. А., Арчаков, А. И. (1972). *Перекисное окисление липидов в биологических мембранах*. Москва: Наука. 252 с. EDN: <https://elibrary.ru/pjbhrz>
4. Дерюгина, А. В., Иващенко, М. Н., Лодяной, М. С. (2022). Оценка резистентности мембран сперматозоидов быков в процессе долгосрочного хранения. *Естественные и технические науки*, 1(164), 107-109. EDN: <https://elibrary.ru/qldsao>

5. Иващенко, М. Н., Дерюгина, А. В., Ермохина, О. Н., Игнатъев, П. С., Латушко, М. И., Метелин, В. Б., Белов, А. А., Ерзутов, А. И. (2024). Изменение метаболизма нативных и деконсервированных сперматозоидов быков под действием молекулярного водорода. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(3), 133-148. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-1152> EDN: <https://elibrary.ru/locqfz>
6. Корочкина, Е. А., Мороз, А. И. (2022). Значение разбавителей спермы разных видов сельскохозяйственных животных в процессе ее криоконсервации. *Генетика и разведение животных*, (4), 108-113. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-4-108-113> EDN: <https://elibrary.ru/mzpqxd>
7. Максимова, М. А., Корочкина, Е. А. (2023). Криорезестентность спермы разных видов животных (обзор). *Генетика и разведение животных*, (4), 127-134. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-4-127-134> EDN: <https://elibrary.ru/ajouet>
8. Абилов, А. И., Решетникова, Н. М. (ред.). (2008). *Национальная технология замораживания и использования спермы племенных быков-производителей*. Москва. 160 с.
9. Семенова, В. С., Шушакова, А. Д., Ивановская, М. М., Корочкина, Е. А. (2023). Влияние мезенхимальных стволовых клеток и их производных на качественные показатели спермы животных до и после криоконсервации (обзор). *Генетика и разведение животных*, (1), 89-95. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-1-89-95> EDN: <https://elibrary.ru/djolux>
10. Breitbart, H., Naor, H., Breitbart, Z. (1999). Protein kinases in mammalian sperm capacitation and the acrosome reaction. *Rev Reprod*, 4(3), 151-159. <https://doi.org/10.1530/ror.0.0040151>
11. Das, A., Roychoudhury, S. (2022). Reactive Oxygen Species in the Reproductive System: Sources and Physiological Roles. *Adv Exp Med Biol*, 1358, 9-40. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89340-8_2 EDN: <https://elibrary.ru/keuqam>
12. Ickowicz, D., Finkelstein, M., Breitbart, H. (2012). Mechanism of sperm capacitation and the acrosome reaction: role of protein kinases. *Asian J Androl*, 14(6), 816-821. <https://doi.org/10.1038/aja.2012.81>
13. O'Connell, M., McClure, N., Lewis, S.E.M. (2002). The effects of cryopreservation on sperm morphology, motility and mitochondrial function. *Hum Reprod*, 17, 704-709. <https://doi.org/10.1093/humrep/17.3.704>
14. Ohno, K., Ito, M., Ichihara, M., Ito, M. (2012). Molecular hydrogen as an emerging therapeutic medical gas for neurodegenerative and other diseases. *Oxid Med Cell Longev*, 24, 353152. <https://doi.org/10.1155/2012/353152>
15. Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing

- cytotoxic oxygen radicals. *Nat Med*, 13(6), 688-694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>
16. Paoli, D., Lombardo, F., Lenzi, A. (2014). Sperm cryopreservation: effects on chromatin structure. *Adv Exp Med Biol*, 791, 137-150. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7783-9_9
 17. Pahune, P.P., Choudhari, A.R., Muley, P.A. (2013). The total antioxidant power of semen and its correlation with the fertility potential of human male subjects. *J Clin Diagn Res*, 7(6), 991-995. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/4974.3040>
 18. Paudel, B., Gervasi, M.G., Porambo, J., Caraballo, D. (2018). Sperm capacitation is associated with phosphorylation of the testis-specific radial spoke protein Rspha. *Biol Reprod*, 100(2), 440-454. <https://doi.org/10.1093/biolre/iy202>
 19. Qiu, P., Liu, Y., Zhang, J. (2019). Recent advances in studies of molecular hydrogen against sepsis. *Int J Biol Sci*, 15(6), 1261. <https://doi.org/10.7150/ijbs.30741>
 20. Roten, R., Paz, G. F., Homonnai, Z. T. (1992). Ca²⁺-independent induction of acrosome reaction by protein kinase C in human sperm. *Endocrinology*, 131(5), 2235-2243. <https://doi.org/10.1210/endo.131.5.1425422>
 21. Ward, N. E., O'Brian, C. A. (1992). Kinetic analysis of protein kinase C inhibition by staurosporine: evidence that inhibition entails inhibitor binding at a conserved region of the catalytic domain but not competition with substrates. *Mol Pharmacol*, 41(2), 387-392. [https://doi.org/10.1016/S0026-895X\(25\)08889-3](https://doi.org/10.1016/S0026-895X(25)08889-3)

References

1. Antonov, M. P., Zhigulina, V. V. (2012). Influence of biochemical changes in sperm and spermoplasm lipids on ejaculate fertility. *Upper Volga Medical Journal*, (3), 47-50. EDN: <https://elibrary.ru/pcqnm>
2. Vinogradova, I. L., Bagryantseva, S. Y., Derviz, G. V. (1980). Method for simultaneous determination of 2,3 DPG and ATP in erythrocytes. *Laboratory Affairs*, (7), 424-426.
3. Vladimirov, Y. A., Archakov, A. I. (1972). *Lipid peroxidation in biological membranes*. Moscow: Nauka, 252 p. EDN: <https://elibrary.ru/pjbrz>
4. Deryugina, A. V., Ivashchenko, M. N., Lodoynoy, M. S. (2022). Assessment of bull sperm membrane resistance during long-term storage. *Natural and Technical Sciences*, 1(164), 107-109. EDN: <https://elibrary.ru/qldsao>
5. Ivashchenko, M. N., Deryugina, A. V., Ermokhina, O. N., Ignatiev, P. S., Latushko, M. I., Metelin, V. B., Belov, A. A., Erzutov, A. I. (2024). Changes in metabolism of native and thawed bull sperm under the influence of molecular hydrogen. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(3), 133-148. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-1152> EDN: <https://elibrary.ru/locqfz>

6. Korochkina, E. A., Moroz, A. I. (2022). The significance of semen diluents for different farm animal species during cryopreservation. *Genetics and Animal Breeding*, (4), 108-113. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-4-108-113> EDN: <https://elibrary.ru/mzpqxd>
7. Maksimova, M. A., Korochkina, E. A. (2023). Cryoresistance of semen in different animal species (review). *Genetics and Animal Breeding*, (4), 127-134. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-4-127-134> EDN: <https://elibrary.ru/ajouet>
8. Abilov, A. I., Reshetnikova, N. M. (eds.). (2008). *National technology for freezing and using semen of breeding bulls*. Moscow, 160 p.
9. Semenova, V. S., Shushakova, A. D., Ivanovskaya, M. M., Korochkina, E. A. (2023). Influence of mesenchymal stem cells and their derivatives on semen quality indicators in animals before and after cryopreservation (review). *Genetics and Animal Breeding*, (1), 89-95. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-1-89-95> EDN: <https://elibrary.ru/djolux>
10. Breitbart, H., Naor, H., Breitbart, Z. (1999). Protein kinases in mammalian sperm capacitation and the acrosome reaction. *Rev Reprod*, 4(3), 151-159. <https://doi.org/10.1530/ror.0.0040151>
11. Das, A., Roychoudhury, S. (2022). Reactive Oxygen Species in the Reproductive System: Sources and Physiological Roles. *Adv Exp Med Biol*, 1358, 9-40. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89340-8_2 EDN: <https://elibrary.ru/keuqam>
12. Ickowicz, D., Finkelstein, M., Breitbart, H. (2012). Mechanism of sperm capacitation and the acrosome reaction: role of protein kinases. *Asian J Androl*, 14(6), 816-821. <https://doi.org/10.1038/aja.2012.81>
13. O'Connell, M., McClure, N., Lewis, S.E.M. (2002). The effects of cryopreservation on sperm morphology, motility and mitochondrial function. *Hum Reprod*, 17, 704-709. <https://doi.org/10.1093/humrep/17.3.704>
14. Ohno, K., Ito, M., Ichihara, M., Ito, M. (2012). Molecular hydrogen as an emerging therapeutic medical gas for neurodegenerative and other diseases. *Oxid Med Cell Longev*, 24, 353152. <https://doi.org/10.1155/2012/353152>
15. Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nat Med*, 13(6), 688-694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>
16. Paoli, D., Lombardo, F., Lenzi, A. (2014). Sperm cryopreservation: effects on chromatin structure. *Adv Exp Med Biol*, 791, 137-150. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7783-9_9
17. Pahune, P.P., Choudhari, A.R., Muley, P.A. (2013). The total antioxidant power of semen and its correlation with the fertility potential of human male subjects. *J Clin Diagn Res*, 7(6), 991-995. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/4974.3040>

18. Paudel, B., Gervasi, M.G., Porambo, J., Caraballo, D. (2018). Sperm capacitation is associated with phosphorylation of the testis-specific radial spoke protein Rspfa. *Biol Reprod*, 100(2), 440-454. <https://doi.org/10.1093/biolre/iory202>
19. Qiu, P., Liu, Y., Zhang, J. (2019). Recent advances in studies of molecular hydrogen against sepsis. *Int J Biol Sci*, 15(6), 1261. <https://doi.org/10.7150/ijbs.30741>
20. Roten, R., Paz, G. F., Homonnai, Z. T. (1992). Ca²⁺-independent induction of acrosome reaction by protein kinase C in human sperm. *Endocrinology*, 131(5), 2235-2243. <https://doi.org/10.1210/endo.131.5.1425422>
21. Ward, N. E., O'Brian, C. A. (1992). Kinetic analysis of protein kinase C inhibition by staurosporine: evidence that inhibition entails inhibitor binding at a conserved region of the catalytic domain but not competition with substrates. *Mol Pharmacol*, 41(2), 387-392. [https://doi.org/10.1016/S0026-895X\(25\)08889-3](https://doi.org/10.1016/S0026-895X(25)08889-3)

ВКЛАД АВТОРОВ

Иващенко М.Н., Дерюгина А.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Белов А.А., Латушко М.И., Игнатьев П.С.: сбор и анализ данных, статистическая обработка полученных результатов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marina N. Ivashchenko, Anna V. Deryugina: development of the concept of scientific work, drafting of the manuscript.

Andrey A. Belov, Mikhail I. Latushko, Pavel S. Ignatiev: data collection and analysis, statistical processing.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Иващенко Марина Николаевна, кандидат биологических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева»
пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
kafedra2577@mail.ru

Дерюгина Анна Вячеславовна, доктор биологических наук, доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
пр. Гагарина, 23, г. Нижний Новгород, 603022, Российская Федерация
deryugina@ibbm.unn.ru

Белов Андрей Александрович, кандидат биологических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева»
пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
andrey.raven@gmail.com

Игнатъев Павел Сергеевич, кандидат физико-математических наук
Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова
ул. Восточная, 33Б, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация
ignasha2000@yandex.ru

Латушко Михаил Иванович, кандидат технических наук
Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова
ул. Восточная, 33Б, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация
ancord.m@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Marina N. Ivashchenko, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor
Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Y. Florentyev
97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
SPIN-code: 8510-8676
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-8518>
kafedra2577@mail.ru

Anna V. Deryugina, Dr. Sc. (Biology), Associate Professor
National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation
SPIN-code: 7974-4600
deryugina@ibbm.unn.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>

Andrey A. Belov, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor
Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Y. Florentyev
97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation

SPIN-code: 1394-7694

andrey.raven@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4869-5054>

Pavel S. Ignatiev, Cand. Sc. (Phys.-Math.)

*Production Association “Ural Optical and Mechanical Plant” named
after E.S. Yalamov*

33B, Vostochnaya Str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

SPIN-code: 7956-1778

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5075-7034>

ignasha2000@yandex.ru

Mikhail I. Latushko, Cand. Sc. (Engineering)

*Production Association “Ural Optical and Mechanical Plant” named
after E.S. Yalamov*

33B, Vostochnaya Str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

ancord.m@yandex.ru

Поступила 26.11.2024

После рецензирования 02.12.2024

Принята 18.12.2024

Received 26.11.2024

Revised 02.12.2024

Accepted 18.12.2024