



Ю.Г. Турлова¹ ✉

М.В. Позовникова¹

А.А. Крутикова¹

В.В. Никитин²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

✉ jturlova@gmail.com

Поступила в редакцию: 10.06.2024
Одобрена после рецензирования: 16.09.2024
Принята к публикации: 30.09.2024

© Турлова Ю.Г., Позовникова М.В., Крутикова А.А., Никитин В.В.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-86-90

Julia G. Turlova¹ ✉

Marina V. Pozovnikova¹

Anna A. Krutikova¹

Vladimir V. Nikitin²

¹ Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Pushkin, St. Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

✉ jturlova@gmail.com

Received by the editorial office: 10.06.2024
Accepted in revised: 16.09.2024
Accepted for publication: 30.09.2024

© Turlova J.G., Pozovnikova M.V., Krutikova A.A., Nikitin V.V.

Связь полиморфизма гена FSHR с воспроизводительными качествами коров голштинской породы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Расширение представлений о механизмах гормональной регуляции полового цикла коров дало возможность разработать большое число программ синхронизации. Это позволяет в некоторой степени решать проблемы, связанные со снижением воспроизводства стада на фоне растущей молочной продуктивности. Параллельно ведется активный поиск биомаркеров, связанных с фертильностью коров, а также для выявления животных, имеющих высокий овариальный ответ на введение экзогенных гонадотропинов.

Цель работы — изучение полиморфизма гена FSHR и его ассоциации с показателями воспроизводства у коров черно-пестрой голштинизированной породы.

Результаты. По результатам генотипирования коров ($n = 128$) по гену FSHR определена частота встречаемости генотипа CC на уровне 0,601, генотипа CG — 0,360, GG — 0,031. Установлено, что для плодотворного осеменения особям с генотипом CG требуется меньшее число осеменений. В случном возрасте кратность осеменения телок с генотипом CG составила 1,43, что меньше, чем у телок с генотипом CC — 1,60 ($p < 0,001$). После первого отела коровы с генотипом CG активнее отвечали на гормональную стимуляцию в послеродовый период. Интервал от первого до плодотворного осеменения у коров с генотипом CG был равен 34,7 дня, у коров с генотипом CC — 57,2 дня ($p < 0,05$). Число стельных коров с генотипом CG, повторно осемененных по факту естественной охоты, было в 2,1 раза выше, чем число коров с генотипом CC (66,7% и 31,2%). Предположено, что экзогенное введение гормонов оказывает стимулирующее действие на систему «гипоталамус — гипофиз — гонады» у коров с генотипом CG, что приводит к выработке собственных гормонов, ответственных за регуляцию полового цикла.

Ключевые слова: молочные коровы, плодовитость, синхронизация, ФСГ крупного рогатого скота, полиморфизм FSHR

Для цитирования: Турлова Ю.Г., Позовникова М.В., Крутикова А.А., Никитин В.В. Связь полиморфизма гена FSHR с воспроизводительными качествами коров голштинской породы. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 86–90.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-86-90>

Association of FSHR gene polymorphism with fertility of Holstein cows

ABSTRACT

Relevance. The view of the mechanisms of hormonal regulation of the ovarian cycle of cows has allowed the development of a large number of synchronization programs. An active search is underway for biomarkers related to the fertility of cows, as well as to identify animals with a high ovarian response to the injection of exogenous gonadotropins.

The aim of the work is to study the polymorphism of the FSHR gene and its association with reproduction indicators in black-and-white Holstein dairy cows.

Results. Based on the results of genotyping cows ($n = 128$) using the FSHR gene, the frequency of occurrence of the CC genotype was determined at the level of 0.601, the CG genotype — 0.360, GG — 0.031. It was found that for productive insemination, animals with the CG genotype require fewer inseminations. At the same age, the frequency of insemination of heifers with the CG genotype was 1.43, with the CC genotype — 1.60. After the first calving, the animals with the CG genotype responded more actively to hormonal stimulation in the postpartum period. The interval from the first to fruitful insemination in cows with the CG genotype was 34.7 days, in cows with the CC genotype — 57.2 days ($p < 0.05$). The number of pregnant cows with the CG genotype re-inseminated after natural hunting was 2.1 times higher than the number of cows with the CC genotype (66.7% and 31.2%). It is assumed that exogenous hormone injection has a stimulating effect on the hypothalamus-pituitary-gonad system in cows with the CG genotype.

Key words: dairy cows, fertility, synchronization, bovine FSH, FSHR polymorphism

For citation: Turlova J.G., Pozovnikova M.V., Krutikova A.A., Nikitin V.V. Association of FSHR gene polymorphism with fertility of Holstein cows. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 86–90 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-86-90>

Введение/Introduction

Изучение механизмов гормональной регуляции полового цикла коров позволило разработать большое количество программ синхронизации. Их применение дает возможность в той или иной степени решать проблемы, связанные со снижением воспроизводства стада на фоне растущей молочной продуктивности. Основным принципом данных программ является сочетанное применение гормональных препаратов: гонадотропин-рилизинг-гормонов (ГнРГ), простагландинов F2 α , прогестагенов [1, 2].

Протоколы гормональной стимуляции могут быть направлены на синхронизацию полового цикла (Presynch, Resynch) и синхронизацию половой охоты (Ovsynch, DoubleOvsynch). Применение данных схем зачастую становится неизбежным в условиях интенсивного молочного производства, позволяя оптимизировать затраты производственного цикла [3].

Положительный момент применения схем гормональной синхронизации — возможность осеменения коров в запланированное время независимо от степени выраженности половой охоты. Тем не менее результативность осеменения при использовании стандартных протоколов синхронизации находится на уровне 35–40% [4, 5].

Предложено большое количество модификаций схем, в которых моделируются интервалы введения гормональных препаратов с учетом наступления соответствующей фазы полового цикла, функционального состояния яичников и матки [1, 2, 4].

Фертильность коров является многофакторным признаком, зависит от биологических (генетическая предрасположенность, гормональный статус, функциональное состояние животного) и паратипических (условия содержания и кормления, уровень менеджмента в стаде, квалификация специалистов, климатические условия) факторов [3, 5].

Современные знания о роли генетических факторов в формировании воспроизводительной функции коров постоянно расширяются. Одним из ключевых гормонов, участвующих в регуляции полового цикла, является фолликулостимулирующий гормон (ФСГ). Это гонадотропный гормон, вырабатываемый в передней доле гипофиза. ФСГ способствует росту фолликулов в яичниках самки и влияет на выработку эстрогенов.

Чувствительность гонад к ФСГ зависит от наличия специфического рецептора (FSHR). Он экспрессируется клетками гранулезы яичника и, как полагают, регулирует фазы созревания фолликулов в ответ на тонический выброс ФСГ гипофизом [6, 7]. Установлено, что при воздействии постоянных концентраций ФСГ уровень экспрессии FSHR снижается [8].

Накапливаются данные о кисспептинах, влияющих на фертильность самок — от стадии полового созревания, секреции гонадотропных гормонов до наступления овуляции. Предполагается, что кисспептины могут подавлять экспрессию рецептора ФСГ [9]. У человека установлено более десятка полиморфных вариантов FSHR, которые рассматриваются как маркеры овариального резерва яичников, определены патогенные варианты, вызывающие недостаточность яичников, обусловленную резистентностью к ФСГ [10].

Ген FSHR крупного рогатого скота расположен в 11-й хромосоме и состоит из 10 экзонов и 11

интронов. Наибольший интерес представляет 10-й экзон, включающий трансмембранный домен [7, 11].

Описано несколько полиморфных сайтов гена FSHR, имеющих ассоциации с репродуктивным потенциалом коров. Так, по SNP P113A (с. 337 C > G) коровы голштинской породы с генотипом GG имели более высокий выход жизнеспособных эмбрионов, носители генотипов GG и CG имели меньше неоплодотворенных ооцитов по сравнению с генотипом CC. У гомозиготных животных AA по SNP I291V (с. 871 A > G) был установлен меньший выход жизнеспособных эмбрионов и больше неоплодотворенных ооцитов после индукции суперовуляции.

Изучение однонуклеотидной замены гена FSHR T658S (с. 1973 C > G) выявило ассоциации с выходом жизнеспособных эмбрионов и процентом бесплодных ооцитов. Поэтому ген FSHR рассматривается как биомаркер для выявления потенциальных коров-доноров, имеющих высокий реакционный ответ на введение экзогенных гонадотропинов [7, 12]. Изучалась связь аллельных вариантов гена FSHR с качеством и количеством ооциткумулюсных клеток в яичниках коров, однако достоверных различий между генотипами не выявлено [13].

У быков ген FSHR необходим для функционирования клеток Сертоли и поддержания сперматогенеза. По результатам генотипирования по полиморфизму TaqI g.234500 A > T быки с генотипом AA достоверно имели более высокий дуплетный объем, концентрацию и общее количество клеток, чем особи с генотипом TT [14].

Цель работы — изучение полиморфизма гена FSHR и его связи с показателями воспроизводства у коров черно-пестрой голштинизированной породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для исследований были отобраны коровы-сверстницы (рождения 2019–2020 гг.) черно-пестрой голштинизированной породы (Ленинградская обл., Россия) в количестве 128 голов.

Подобранные животные проходили синхронизацию в зимне-весенний и осенне-зимний периоды. Первый отел был в 2021–2022 гг. Средний удой за 305 дней первой лактации составил 9650 кг. На момент исследования все коровы имели по две законченные лактации.

Сбор фенотипических данных по всем головам проводился в три этапа: в случной период (телки возраста 14–16 месяцев), после первого и второго отелов.

Забор крови у животных проводили однократно. Кровь от коров получали пункцией из хвостовой вены в пробирки с K3EDTA. Все процедуры на животных проводились в соответствии с Протоколом Комиссии по этике экспериментов на животных Федерального научного центра животноводства им. Л.К. Эрнста (№ 2020/2) и Законом Российской Федерации о ветеринарной медицине¹ (от 14 мая 1993 г. № 4979-1).

Исследования проводили в лаборатории молекулярной генетики Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ) в 2023 году.

¹ <https://fsvps.gov.ru/files/zakon-rf-ot-14-maja-1993-g-n-4979-1-o-veterinari/>

Кровь от коров получали пункцией из хвостовой вены в пробирки с K3EDTA. Геномную ДНК выделяли из крови фенол-хлороформным методом². Качество и количество полученной ДНК оценивали на спектрофотометре NanoDrop 2000 (ThermoScientific, США).

Генотипирование образцов проводили методом ПЦР-ПДРФ (полимеразная цепная реакция и полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) по протоколу [11].

Для обнаружения полиморфных вариантов FSHR использовали праймеры (ООО «Синтол», Россия): прямой (5' STGCCTCCCTCAAGGTGCCCTC3') и обратный (5' AGTTCTTGGCTAAATGTCTTAGGGGG3') [11]. Полученный амплификат имел длину 306 п. н. Образцы обрабатывали эндонуклеазой рестрикции AluI в течение 2 часов при 37 °C (ООО «Сибэнзим», Россия). Детекция фрагментов проводилась в 2%-ном агарозном геле с бромистым этидием. Генотипу CC соответствовали фрагменты 243 и 63 п. н., генотипу CG — 243, 193, 63 и 50 п. н., генотипу GG — 193, 63 и 50 п. н.

В хозяйстве протоколам гормональной синхронизации полового цикла подлежат только коровы, телки осеменяются по факту естественной охоты. Для индукции полового цикла ко всем новотельным коровам применялся единый протокол: с 40-го дня используется схема синхронизации Presynch, с 57–63-го дня после отела применяется схема DoubleOvsynch.

Степеньность определялась УЗИ на 35–40-й день. Ультразвуковая диагностика проводилась на аппарате MindRayDP 10VET (Китай).

Коров, чья степеньность не подтверждалась УЗИ, осеменяли по факту естественной охоты или после синхронизации по протоколу гормональной обработки Resynch.

Оценивались показатели воспроизводства: сервис-период (СП), межотельный период (МОП), наличие половой охоты, кратность и результативность осеменения. Данные взяты из соответствующих журналов ветеринарного и зоотехнического учета в хозяйстве.

Статистическая обработка данных проводилась в программе Microsoft Office Excel (США), достоверность рассчитана по критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Оценку генетического состава выборки и степень нарушения генного равновесия проводили согласно закону Харди — Вайнберга.

Соответствие наблюдаемого и ожидаемого распределения генотипов анализировали методом χ^2 -критерия³.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты генотипирования по гену FSHR показали, что в исследуемой выборке животных ($n = 128$) наибольшая частота встречаемости установлена для генотипа CC — 0,601 (78 голов), гетерозиготный генотип CG определен у 46 голов (0,360), 4 головы — носители гомозиготного генотипа GG, частота встречаемости — 0,031. Соответственно, частота встречаемости аллеля C и G гена FSHR составила 0,789 и 0,211. Нарушения генного равновесия между эмпирическим и теоретическим распределением генотипов по методу Харди — Вайнберга не выявлено ($\chi^2 = 0,682$).

Ранее были установлены сходные данные по генотипированию коров в другом хозяйстве Ленинградской

области: частота встречаемости генотипа CC определена на уровне 0,724, CG — 0,218, GG — 0,031 [13].

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика показателей воспроизводства телок (коров) разных генотипов по гену FSHR. Группа животных с генотипом GG ввиду малочисленности не учитывалась в сравнительном анализе.

Результативность 1-го осеменения по телкам с генотипом CC и CG была на уровне 66–67%. После 1-го и 2-го отелов этот показатель ожидаемо снизился: до 42,3% и 36,3% — у коров с генотипом CC, до 39,1% и 32,6% — у коров с генотипом CG соответственно.

Показатель плодотворности осеменения является многофакторным и зависит как от физиологического состояния животного (возраст, гормональный и метаболический статус, наличие заболеваний органов репродукции и др.), так и от факторов, связанных с кормлением, содержанием животных, с применением схем синхронизации с фиксированным временем искусственного осеменения.

По показателям межотельного и сервис-периода различия между коровами с генотипами CC и CG были незначительны. Эти показатели информативны для оценки воспроизводительных качеств в зоотехнической практике, если к животным не применяются методы гормональной синхронизации. В противном случае, когда сроки осеменения группы коров или всего стада искусственно приводятся к единому показателю, сроки СП и МОП не могут объективно отражать ситуацию с воспроизводством. Например, у исследуемых животных срок осеменения в первую (индуцированную) охоту был равен 65–77 дней независимо от степени ее проявления.

Кратность осеменений телок с генотипом CG была меньше на 0,17, чем у телок с генотипом CC: 1,43 и 1,60 соответственно ($p < 0,001$). Такая же тенденция сохранилась у этих животных при осеменении после 1-го отела. Интервал от 1-го до плодотворного осеменения у коров с генотипом CG составил 34,7 дня, что на 22,5 дня меньше, чем у коров с генотипом CC — 57,2 дня ($p < 0,05$). Суммарно такой интервал соответствует по продолжительности двум протоколам Ovsynch (10 дней). Показатель свидетельствует о меньшем числе осеменений, требуемых для получения степеньности.

Таблица 1. Показатели репродуктивных качеств телок (коров) с различными генотипами гена FSHR

Table 1. The reproductive qualities of heifers (cows) with various genotypes of the FSHR gene

Показатель	Генотип		
	CC ($n = 78$)	CG ($n = 46$)	GG ($n = 4$)
Результативность первого осеменения телок, %	67,3	66,2	75,0
Кратность осеменений телок	1,60 $\pm$ 0,011	1,43 $\pm$ 0,01***	1,75 $\pm$ 0,02
Сервис-период, дни	121 $\pm$ 6,6	114 $\pm$ 6,5	139 $\pm$ 26,0
Межотельный период, дни	406 $\pm$ 8,2	390 $\pm$ 6,4	446 $\pm$ 58,3
Интервал от 1-го до плодотворного осеменения, дни	57,2 $\pm$ 8,4	34,7 $\pm$ 6,0*	72 $\pm$ 10,4
Результативность первого осеменения коров (после 1-го отела), %	42,3	39,1	25,0
Результативность первого осеменения коров (после 2-го отела), %	36,3	32,6	50,0
Аборты, гол.	4	2	1

² https://vniigen.ru/wp-content/uploads/2023/10/Azovtseva_A_I_praktikum_DNK.pdf?x26163

³ Гаевский Н.А. Знакомство с эволюционной генетикой. 2002. https://elilib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/1435/m_evolutgenet.pdf?sequence

На рисунке 1 представлены данные по результативности и кратности осеменений животных с разными генотипами гена FSHR в случной период (телки) и после 1-го отела (коровы).

Показано, что более 66% телок и около 40% коров плодотворно осеменяются после 1-го осеменения (табл. 1). Однако есть отличия среди животных, проходящих повторное осеменение и (в случае коров) повторную синхронизацию. Так, 23% телок с генотипом CG осеменялись во 2-ю охоту, остальные 11% — в 3-ю. Телки с генотипом CC осеменялись в некоторых случаях 4 и более раз (8%).

Коровы с гетерозиготным генотипом в 52% случаев осеменялись со 2-го и 3-го раза, а коровы с генотипом CC плодотворно осеменялись в 17–21% случаев на 2-й, 3-й, 4-й и более раз. Диаграмма косвенно подтверждает полученные данные о различии в результативности и кратности осеменения между животными — носителями различных генотипов гена FSHR.

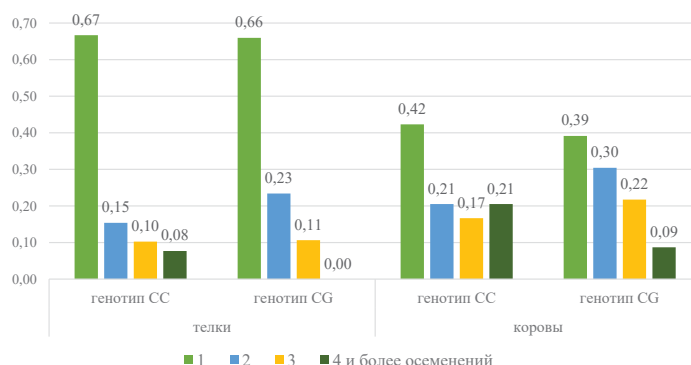
Отмечено, что животные с разными полиморфными вариантами гена FSHR отличаются по характеру выраженности охоты на протяжении полового цикла. Так, из 45 коров с генотипом CC, оставшихся нестельными после 1-го осеменения, 16 голов (35,5%) пришли в естественную охоту, а среди 28 нестельных коров с генотипом CG — 12 голов (41,3%). По результатам текущей естественной охоты из них плодотворно осеменены 5 и 8 голов, то есть результативность осеменения составила 31,2% и 66,7% соответственно.

На гормональную стимуляцию в послетельный период активнее отвечали коровы с генотипом CG, что экономически выгоднее, поскольку для осеменения не требовалось дополнительной гормональной обработки.

Можно предположить, что экзогенное введение гормонов оказывает стимулирующее действие на звенья гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы у коров

Рис. 1. Результативность осеменений телок (коров) с генотипами CC и CG по гену FSHR

Fig. 1. The efficiency of insemination of heifers (cows) with CC and CG genotypes for the FSHR gene



с гетерозиготным генотипом, что приводит к выработке собственных гормонов, ответственных за регуляцию полового цикла. Данное предположение требует проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Выводы/Conclusions

Установлено, что коровы с генотипом CG имеют лучшие показатели по плодотворности осеменения (для получения стельности требуется меньшее число осеменений).

В случном возрасте для результативного осеменения телок с генотипом CG кратность осеменения составила 1,43, что меньше на 0,17 ($p < 0,001$), чем у телок с генотипом CC — 1,60. После первого отела особи с генотипом CG активнее отвечали на гормональную стимуляцию в послетельный период.

Интервал от 1-го до плодотворного осеменения у коров с генотипом CG был 34,7 дня, что на 22,5 дня короче ($p < 0,05$), чем у коров с генотипом CC — 57,2 дня. Число стельных коров с генотипом CG, повторно осемененных по факту естественной охоты, было в 2,1 раза выше, чем среди коров с генотипом CC (66,7% и 31,2%).

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа проведена в рамках выполнения научных исследований Министерства науки и высшего образования РФ по теме № FGGN-2024-0014.

FUNDING

The study was funded by scientific research of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic No. FGGN-2024-0014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панкратова А.В., Косовский Г.Ю., Насибов Ш.Н. Синхронизация охоты коров в молочном скотоводстве. *Ветеринарная патология*. 2016; (2): 45–49. <https://elibrary.ru/yzarcl>
2. Jeong J.-K., Kim U.-H., Kang H.-G., Kim I.-H. Selective use of a modified pre-synchronization-Ovsynch and resynchronization reproductive strategy in dairy herds: A field application study. *Reproduction in Domestic Animals*. 2021; 57(1): 45–54. <https://doi.org/10.1111/rda.14027>
3. Гальченко В.А., Перерядкина С.П., Никитин Г.С., Авдеенко В.С., Лисиченко Г.О. Эффективность синхронизации половой охоты у коров на высокотехнологичном молочном модернизированном предприятии. *Международный вестник ветеринарии*. 2022; (4): 395–400. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.395>
4. Медведев Г.Ф., Петров Д.В. Эффективность гормонального контроля репродуктивной функции коров. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2021; (3): 31–35. <https://elibrary.ru/zpqlqy>
5. Христиановский П.И., Сеитов М.С., Платонов С.А., Медетов Е.С., Алдыаров Т.Б. Сравнительный анализ эффективности фронтальной осеменения коров при различных схемах синхронизации половой охоты. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (6): 217–220. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-217-221>

REFERENCES

1. Pankratova A.V., Kosovskiy G.Yu., Nasibov Sh.N. Synchronization of hunting cows in dairy farming. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2016; (2): 45–49 (in Russian). <https://elibrary.ru/yzarcl>
2. Jeong J.-K., Kim U.-H., Kang H.-G., Kim I.-H. Selective use of a modified pre-synchronization-Ovsynch and resynchronization reproductive strategy in dairy herds: A field application study. *Reproduction in Domestic Animals*. 2021; 57(1): 45–54. <https://doi.org/10.1111/rda.14027>
3. Galchenko V.A., Pereryadkina S.P., Nikitin G.S., Avdeenko V.S., Lisichenko G.O. Efficiency of synchronization of sexual hunting in cows at a high-tech dairy modernized enterprise. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2022; (4): 395–400 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.395>
4. Medvedev G.F., Petrov D.V. Efficiency of hormone control of reproductive function of cows. *Animal Husbandry Agriculture and Veterinary Medicine*. 2021; (3): 31–35 (in Russian). <https://elibrary.ru/zpqlqy>
5. Khristianovskiy P.I., Seitov M.S., Platonov S.A., Medetov E.S., Aldyarov T.B. Comparative analysis of the effectiveness of frontal insemination of cows with different schemes of synchronization of sexual heat. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (6): 217–220 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-217-221>

6. Houde A., Lambert A., Silversides D.W., Lussier J.G., Saumande J. Structure of the bovine follicle-stimulating hormone receptor complementary DNA and expression in bovine tissues. *Molecular Reproduction & Development*. 1994; 39(2): 127–135.
<https://doi.org/10.1002/mrd.1080390202>
7. Cory A.T., Price C.A., Lefebvre R., Palin M.-F. Identification of single nucleotide polymorphisms in the bovine follicle-stimulating hormone receptor and effects of genotypes on superovulatory response traits. *Animal Genetics*. 2013; 44(2): 197–201.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02380.x>
8. Kishi H., Kitahara Y., Imai F., Nakao K., Suwa H. Expression of the gonadotropin receptors during follicular development. *Reproductive Medicine and Biology*. 2018; 17(1): 11–19.
<https://doi.org/10.1002/rmb2.12075>
9. Ширяев Г.В., Притужалова А.О., Никитин Г.С., Никиткина Е.В., Мусидрай А.А., Алексеева А.Ю. Репродуктивная функция коров (*Bos taurus*) под влиянием различных ксептинов (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(6): 974–989.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.974rus>
10. Khor S., Lyu Q., Kuang Y., Lu X. Novel *FSHR* variants causing female resistant ovary syndrome. *Molecular Genetics & Genomic Medicine*. 2019; 8(2): e1082.
<https://doi.org/10.1002/mgg3.1082>
11. Caixeta E.S., Ripamonte P., Franco M.M., Junior J.B., Dode M.A.N. Effect of follicle size on mRNA expression in cumulus cells and oocytes of *Bos indicus*: an approach to identify marker genes for developmental competence. *Reproduction, Fertility and Development*. 2009; 21(5): 655–664.
<https://doi.org/10.1071/RD08201>
12. Бригида А.В., Бурсаков С.А., Скачкова О.А., Сорокин В.И., Ковальчук С.Н. Факторы, влияющие на реакционный ответ яичников коров-доноров эмбрионов при введении экзогенных гонадотропинов (обзор). *Достижения науки техники АПК*. 2018; 32(6): 56–63.
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10614>
13. Позовникова М.В., Ротарь Л.Н. Оценка коров голштинизированной черно-пестрой породы по полиморфизму гена *FSHR*. *Международный вестник ветеринарии*. 2019; (2): 161–165.
<https://elibrary.ru/hfzjwu>
14. Nikitkina E., Krutikova A., Musidray A., Plemashov K. Search for Associations of *FSHR*, *INHA*, *INHAB*, *PRL*, *TNP2* and *SPEF2* Genes Polymorphisms with Semen Quality in Russian Holstein Bulls (Pilot Study). *Animals*. 2021; 11(10): 2882.
<https://doi.org/10.3390/ani11102882>

ОБ АВТОРАХ

Юлия Григорьевна Турлова¹

кандидат биологических наук
jturlova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9845-1421>

Марина Владимировна Позовникова¹

кандидат биологических наук
pozovnikova@gmail.com
Scopus Author ID: 57200383317

Анна Алексеевна Крутикова¹

кандидат биологических наук
anntim2575@mail.com
Scopus Author ID: 57194646991

Владимир Вячеславович Никитин²

ассистент кафедры генетических
и репродуктивных технологий
nikitin89@list.ru

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Московское шоссе, 55А, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, ул. Черниговская, 5, Санкт-Петербург, 196084, Россия

6. Houde A., Lambert A., Silversides D.W., Lussier J.G., Saumande J. Structure of the bovine follicle-stimulating hormone receptor complementary DNA and expression in bovine tissues. *Molecular Reproduction & Development*. 1994; 39(2): 127–135.
<https://doi.org/10.1002/mrd.1080390202>

7. Cory A.T., Price C.A., Lefebvre R., Palin M.-F. Identification of single nucleotide polymorphisms in the bovine follicle-stimulating hormone receptor and effects of genotypes on superovulatory response traits. *Animal Genetics*. 2013; 44(2): 197–201.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02380.x>

8. Kishi H., Kitahara Y., Imai F., Nakao K., Suwa H. Expression of the gonadotropin receptors during follicular development. *Reproductive Medicine and Biology*. 2018; 17(1): 11–19.
<https://doi.org/10.1002/rmb2.12075>

9. Shiryayev G.V., Prituzhalova A.O., Nikitin G.S., Nikitkina E.V., Musidray A.A., Alekseeva A.Yu. The influence of various kisspeptins on the reproductive function of *Bos taurus* (review). *Agricultural Biology*. 2023; 58(6): 974–989.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.974eng>

10. Khor S., Lyu Q., Kuang Y., Lu X. Novel *FSHR* variants causing female resistant ovary syndrome. *Molecular Genetics & Genomic Medicine*. 2019; 8(2): e1082.
<https://doi.org/10.1002/mgg3.1082>

11. Caixeta E.S., Ripamonte P., Franco M.M., Junior J.B., Dode M.A.N. Effect of follicle size on mRNA expression in cumulus cells and oocytes of *Bos indicus*: an approach to identify marker genes for developmental competence. *Reproduction, Fertility and Development*. 2009; 21(5): 655–664.
<https://doi.org/10.1071/RD08201>

12. Brigida A.V., Bursakov S.A., Skachkova O.A., Sorokin V.I., Kovalchuk S.N. Factors Affecting the Response of Ovaries of Donor Cows to Exogenous Gonadotropin (Review). *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2018; 32(6): 56–63 (in Russian).
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10614>

13. Pozovnikova M.V., Rotar L.N. Analysis of cows of Holsteinized black and white breed on the *FSHR* gene polymorphism. *International bulletin of Veterinary Medicine*. 2019; (2): 161–165 (in Russian).
<https://elibrary.ru/hfzjwu>

14. Nikitkina E., Krutikova A., Musidray A., Plemashov K. Search for Associations of *FSHR*, *INHA*, *INHAB*, *PRL*, *TNP2* and *SPEF2* Genes Polymorphisms with Semen Quality in Russian Holstein Bulls (Pilot Study). *Animals*. 2021; 11(10): 2882.
<https://doi.org/10.3390/ani11102882>

ABOUT THE AUTHORS

Julia Grigorievna Turlova¹

Candidate of Biological Sciences
jturlova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9845-1421>

Marina Vladimirovna Pozovnikova¹

Candidate of Biological Sciences
pozovnikova@gmail.com
Scopus Author ID: 57200383317

Anna Alekseevna Krutikova¹

Candidate of Biological Sciences
anntim2575@mail.com
Scopus Author ID: 57194646991

Vladimir Vyacheslavovich Nikitin²

Assistant of the Department of Genetic
and Reproductive Technologies
nikitin89@list.ru

¹ Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 55A Moscow highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia

² Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya Str., St. Petersburg, 196084, Russia