

Связь концентрации эстрадиола-17 β в сыворотке крови с результативностью получения ооцитов у коров тагильской породы

© 2026. Р. Ю. Чинаров✉, Г. Н. Сингина, О. С. Митяшова, В. А. Луканина, И. Ю. Лебедева, И. В. Гусев

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Аспирация фолликулов яичников (ОПУ) является основным источником получения ооцитов для продукции эмбрионов *in vitro* (IVP) у крупного рогатого скота. Выявление доноров, ОПУ-ооциты которых обладают лучшей компетенцией к эмбриональному развитию, представляет интерес в отношении повышения эффективности извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro*. Цель настоящей работы – оценка содержания эстрадиола-17 β (ЭД) в крови как предиктора результативности технологии извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro* у лактирующих коров-доноров тагильской породы. Исследования проводили на коровах в период середины лактации ($n = 4$). На каждом из доноров была проведена серия из девяти сеансов ОПУ в режиме два раза в неделю. Для определения в сыворотке крови концентрации половых гормонов (ЭД, фолликулостимулирующий (ФСГ), лютеинизирующий (ЛГ), прогестерон (ПГ), антимюллеров (АМГ)) использовали метод иммуноферментного анализа. Выявлено достоверное влияние индивидуальных особенностей коров-доноров на изменчивость концентрации ЭД, которые обуславливали 48,11 % ($p < 9,1 \cdot 10^{-5}$) вариативности данного показателя. Установлена связь концентрации ЭД с уровнем ЛГ (коэффициент корреляции Спирмена, $r_s = -0,71$, $p < 0,001$) и АМГ ($r_s = -0,33$, $p < 0,10$). Выявлена достоверная ($p < 0,05$) связь уровня ЭД с числом и долей развития blastocysts ($r_s = -0,37$ и $-0,38$, соответственно). В группе с наименьшими концентрациями ЭД ($< M - \sigma$) по сравнению с группой с наибольшими концентрациями ($> M + \sigma$) в среднем за сеанс ОПУ отмечалось получение большего числа blastocysts ($2,57 \pm 0,81$ против $0,17 \pm 0,17$, $p < 0,01$), что достигалось, главным образом, за счет более высокой доли развития эмбрионов до стадии blastocysts ($62,1 \pm 18,3$ против $5,3 \pm 10,0$ %, $p < 0,01$). Учитывая наличие корреляции между содержанием ЭД в сыворотке крови в день прихода в охоту и в дни проведения сеансов ОПУ ($r_s = 0,86$), концентрация ЭД в день прихода в охоту может использоваться для отбора коров-доноров тагильской породы с лучшей компетенцией ооцитов к развитию в системе *in vitro*.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, аспирация фолликулов, качество ооцитов, половые гормоны, получение эмбрионов *in vitro*

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-2024-0014, № госрегистрации 124020200127-7).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чинаров Р. Ю., Сингина Г. Н., Митяшова О. С., Луканина В. А., Лебедева И. Ю., Гусев И. В. Связь концентрации эстрадиола-17 β в сыворотке крови с результативностью получения ооцитов у коров тагильской породы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(4):975–985. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.4.975-985>

Поступила: 07.10.2025

Принята к публикации: 17.08.2026

Доработана после рецензирования: 21.12.2025

Опубликована онлайн: 31.08.2026

The relationship of estradiol-17 β concentration in blood serum with the efficiency of oocyte retrieval in cows of the Tagil breed

© 2026. Roman Yu. Chinarov✉, Galina N. Singina, Olga S. Mityashova, Viktoria A. Lukanina, Irina Yu. Lebedeva, Igor V. Gusev

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

Aspiration of ovarian follicles (OPU) is the major source of oocyte retrieval for *in vitro* production (IVP) of embryos in cattle. The identification of donors whose OPU-oocytes have the better competence to embryonic development is of interest in terms of increasing the efficiency of oocyte retrieval and *in vitro* embryos production. The aim of this work was to assess the content of estradiol-17 β (E2) in the blood as a predictor of the efficiency of oocyte retrieval and *in vitro* embryos production technology in lactating donor cows of the Tagil breed. The studies were carried out on cows of the Tagil breed during the middle part of lactation ($n = 4$). Nine consecutive OPU sessions were carried out on each of the donors with a frequency of twice a week. The concentration of E2, follicle-stimulating hormone (FSH), luteinizing hormone (LH), progesterone and Anti-Müllerian hormone (AMH) in blood serum were determined by enzyme immunoassay. A significant effect of the individual features

of donor cows on the variability of E2 concentration was revealed, which caused 48.11 % ($p < 9.1 \cdot 10^{-5}$) variability of this index. The correlations between the concentrations of E2 and LH (Spearman correlation coefficient, $r_s = -0.71$, $p < 0.001$), E2 and AMH ($r_s = -0.33$, $p < 0.10$) were observed. There was a significant ($p < 0.05$) correlation between the level of E2 and the number of blastocysts and blastocyst ratio ($r_s = -0.37$ and -0.38 , respectively). In the group with the lower concentration of E2 ($< M - \sigma$), compared to the group with the greater concentration of E2 ($> M + \sigma$), on average, more blastocysts were produced per OPU session (2.57 ± 0.81 vs 0.17 ± 0.17 , $p < 0.01$), which was achieved mainly due to a higher blastocyst ratio (62.1 ± 18.3 vs 5.3 ± 10.0 %, $p < 0.01$). The correlation between the E2 content in the blood serum at the day of estrus occurrence and at the days of the OPU sessions ($r_s = 0.86$), the concentration of E2 at the day of estrus occurrence can be used to select donor cows of the Tagil breed with the better developmental competence of oocytes *in vitro*.

Keywords: cattle, follicle aspiration, oocyte quality, reproductive hormones, *in vitro* embryo production

Acknowledgements: the research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. FGGN-2024-0014, state registration No. 124020200127-7).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Chinarov R. Yu., Singina G. N., Mityashova O. S., Lukanina V. A., Lebedeva I. Yu., Gusev I. V. The relationship of estradiol-17 β concentration in blood serum with the efficiency of oocyte retrieval in cows of the Tagil breed. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(4):975–985. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.4.975-985>

Received: 07.10.2025

Revised: 21.12.2025

Accepted for publication: 17.08.2026

Published online: 31.08.2026

Аспирация овариальных фолликулов (OPU) у крупного рогатого скота рассматривается сегодня основной технологией получения ооцитов для продукции эмбрионов *in vitro* (IVP-эмбрионы) [1, 2]. Ключевым фактором повышения эффективности OPU является увеличение числа ооцит-кумулюсных комплексов (ОКК), получаемых за сеанс OPU, и повышение их способности к эмбриональному развитию *in vitro* [3]. На фоне наметившейся тенденции снижения применения экзогенных гонадотропных гормонов перспективным приемом увеличения числа фолликулов, одновременно вступающих в стадию роста и развития, является поиск биомаркеров, связанных с количественными и качественными характеристиками ОКК [1]. В качестве потенциальных биомаркеров могут служить половые гормоны, так как они принимают непосредственное участие в регуляции репродуктивной функции [1, 3].

Одним из основных половых гормонов в яичниках коров является эстрадиол-17 β (ЭД), который вовлечен в регуляцию секреции гонадотропинов. Известно, что развитие растущего преовуляторного фолликула сопровождается повышением концентрации ЭД в крови [4], что, в свою очередь, обуславливает преовуляторный выброс лютеинизирующего гормона (ЛГ) [5]. На стадии мейоза МП, которая начинается непосредственно после выброса ЛГ, гормональный профиль внутри фолликулов меняется с преимущественно эстрогенного на прогестероновый. Полагают, что такие изменения

оказывают влияние на качество ооцитов и их способность к эмбриональному развитию [6]. Было установлено, что добавление ЭД приводило к увеличению доли созревших ооцитов крупного рогатого скота в условиях *in vitro* [7]. Аналогичная закономерность наблюдалась в исследованиях, проведенных на буйволах и козах [8]. Добавление различных концентраций ЭД к среде для созревания ооцитов, культивируемых *in vitro*, вне зависимости от концентрации приводило к более высокой степени экспансии кумулюса по сравнению с контролем без добавления ЭД. Кроме того, у буйволов доля ооцитов, созревших в культуре до стадии МП, возрастала с увеличением концентрации ЭД [8].

Был проведен ряд исследований возможной связи уровня ЭД в фолликулярной жидкости, а также в сыворотке или плазме крови с показателями воспроизводства. Так, было выявлено, что у коров с нормальной воспроизводительной функцией концентрация ЭД в жидкости овариальных фолликулов перед овуляцией была понижена по отношению к коровам с низкой фертильностью [9]. Аналогичная зависимость была выявлена у человека. Концентрации эстрадиола в жидкости овариальных фолликулов были ниже у пациенток с нормальной репродуктивной функцией по сравнению с пациентками, у которых был диагностирован синдром поликистозных яичников [10]. Выявлена отрицательная корреляционная зависимость между уровнем эстрадиола в крови пациенток с долей имплантировавшихся эмбрионов

и процентом клинически подтвержденных беременностей после трансплантации эмбрионов, находящихся на стадии первого деления-дробления. При трансплантации эмбрионов, находящихся на стадии бластоцисты, уровень ЭД в крови не оказывал влияния на вышеуказанные показатели [11]. У коров с ярко выраженным рефлексом неподвижности в ожидаемый день гормонально синхронизированного полового цикла и ставшими стельными после осеменения отмечались более высокие концентрации ЭД в крови непосредственно перед овуляцией по сравнению с коровами с отсутствием рефлекса неподвижности [12].

Таким образом, биологические свойства ЭД позволяют рассматривать его в качестве биомаркера для отбора коров-доноров ооцитов. Однако, если роль эстрадиола в аспекте вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) системно исследуется на человеке [13, 14], то у сельскохозяйственных животных исследования носят фрагментарный характер. Так, выявлена худшая компетенция ооцитов коров, извлеченных из фолликулов с более низкими концентрациями ЭД, к эмбриональному развитию, что проявлялось в достоверно ($p < 0,05$) меньшей доле раздробившихся эмбрионов, доле эмбрионов, достигших стадии бластоцисты, и вылупившихся бластоцист [15].

Н. Аргов с соавт. (N. Argov et al.) [16] выявили связь между концентрацией ЭД в плазме крови коров, находящихся на 3-м месяце лактации, с числом ОРУ-ооцитов, однако у коров на 9-м месяце лактации такой зависимости обнаружено не было [16]. Ооциты коров, извлеченные из фолликулов с высокой концентрацией ЭД в фолликулярной жидкости, имели лучший потенциал к развитию *in vitro* [17].

С учетом результатов ранее проведенных исследований на крупном рогатом скоте и человеке, поиск биомаркеров для отбора коров-доноров для ОРУ остается актуальным.

Цель работы – оценка содержания эстрадиола-17 β в крови как предиктора результативности технологии извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro* у лактирующих коров-доноров тагильской породы.

Научная новизна – выявлена связь содержания эстрадиола-17 β в сыворотке крови коров тагильской породы в дни проведения сеансов ОРУ с компетенцией извлеченных ооцитов к эмбриональному развитию *in vitro*.

Материал и методы. Эксперименты с животными были одобрены Комиссией Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» по биоэтике (протокол № 1 от 15.01.2024).

Объектом исследований служили коровы тагильской породы, находящиеся на третьем – пятом месяцах лактации ($n = 4$). Для синхронизации полового цикла за 9 дней до планируемого дня прихода в охоту (день 0) выполняли инъекцию 5 мл Фертагила (Intervet, Нидерланды). Через 7 дней проводили инъекцию 3 мл Эстрофана (Bioveta, Чехия) и через 2 дня – вторую инъекцию 2,5 мл Фертагила. Серия ОРУ, проведенная на каждом из доноров, включала девять последовательных сеансов с попеременным интервалом 3 и 4 дня, начиная с 4-го дня гормонально синхронизированного полового цикла. Для аспирации всех УЗИ-видимых фолликулов использовали систему для ОРУ у крупного рогатого скота (Minitube, Германия) с секторным зондом Aloka UST-9111-5, 5 МГц/90/14 мм. Аспирацию проводили с использованием фосфатно-солевого буфера (ФСБ), дополненного 10 % фетальной бычьей сыворотки (ФСБ), 18 МЕ/мл гепарина и 50 мг/мл гентамицина. На основании морфологической оценки, извлеченные ооцит-кумулюсные комплексы (ОКК) распределяли по трем категориям (хорошие, удовлетворительные, дегенерированные), исходя из количества и целостности слоев кумулюса, а также прозрачности и гомогенности цитоплазмы. ОКК хорошего и удовлетворительного качества использовали для дальнейшего культивирования *in vitro*. Процедуру экстракорпорального созревания и оплодотворения отобранных ооцитов, а также их культивирования до стадии бластоцисты проводили как было описано ранее [18].

В каждом индивидуальном сеансе ОРУ определяли число УЗИ-видимых фолликулов, число извлеченных ОКК, степень извлечения ОКК, число и долю пригодных ОКК, число и долю созревших ооцитов, число и долю раздробившихся эмбрионов, число и долю развития (выход) бластоцист. Долю созревших ооцитов, долю раздробившихся эмбрионов и долю развития бластоцист определяли как процентное отношение соответственно числа созревших ОКК, числа раздробившихся эмбрионов и числа полученных бластоцист от числа пригодных ОКК.

Кровь для исследований содержания половых гормонов отбирали из хвостовой вены с использованием одноразовых вакуумных пробирок Vacuette (GreinerBio-One, Австрия) с активатором свертывания в день прихода животных в охоту и при проведении каждого сеанса ОРУ. Для отделения сыворотки крови выполняли центрифугирование при 6000 об/мин в течение 5 минут. Образцы помещали на хранение в морозильную камеру при -20 °С до проведения исследований. Для определения содержания половых гормонов в сыворотке крови доноров использовали метод иммуноферментного анализа. Для определения концентрации ЭД и прогестерона (ПГ) использовали наборы ООО «Хема» (Россия), фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), лютеинизирующего гормона (ЛГ) и антимюллерова гормона (АМГ) – наборы компании Cloud-Clone (КНР). Чувствительность метода составляла соответственно 0,025 нмоль/л, 0,25 нмоль/л, 0,91 нг/мл, 0,13 нг/мл и 0,025 нг/мл. Все анализы выполняли в дубликатах, расхождения между измерениями не превышали 12 %.

Для оценки вклада различных факторов в изменчивость концентрации ЭД проводили однофакторный и двухфакторный (анализ главных эффектов; без взаимодействия) дисперсионный анализ с применением программы STATISTICA 10. В качестве изучаемых факторов оценивали влияние индивидуальных особенностей донора и номера сеанса ОРУ. Связи уровня ЭД в крови с другими половыми гормонами (ПГ, ФСГ, ЛГ, АМГ) оценивали на основании значений корреляции Спирмена, рекомендованного для анализа непараметрических данных (r_s). Для оценки возможного доза-зависимого влияния концентрации ЭД дополнительно проводили расчет значений коэффициента корреляции Пирсона (r_p). Минимальный порог достоверности коэффициентов корреляции был установлен на уровне $p < 0,05$. При $p < 0,10$ считали, что выявленные связи носят характер тенденции.

В исследуемой выборке определяли среднее значение (M) и среднеквадратическое отклонение (σ) концентрации ЭД в сыворотке крови. В зависимости от концентрации ЭД все сеансы ОРУ распределяли между четырьмя категориями (квантилями): I – менее ($M - \sigma$), II – от ($M - \sigma$) до M ; III – от M до ($M + \sigma$); IV – более ($M + \sigma$). Для изучаемых показателей в каждой из категорий проводили расчет M ,

стандартной ошибки (SE) и коэффициента вариации (Cv) как отношения σ к M , выраженное в %. Достоверность различий между категориями и между отдельными донорами оценивали на основании непараметрического критерия Манна-Уитни (U-критерия) для двух независимых выборок. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Вариабельность концентрации ЭД в сеансах ОРУ была различной: при ОРУ8 – $0,225 \pm 0,0210$ нмоль/л, при ОРУ4 – $0,300 \pm 0,052$ нмоль/л. Среднее значение показателя по выборке в целом составило $0,249 \pm 0,011$ нмоль/л ($Cv = 25,4$ %).

Коэффициент вариации содержания ЭД между индивидуумами в отдельных сеансах ОРУ составил от 17,3 до 34,5 %, в то время как между сеансами ОРУ у одних и тех же доноров – от 10,8 до 24,8 %. Средняя концентрация ЭД была минимальной у коровы № 699 – $0,184 \pm 0,009$ нмоль/л, максимальной – у коровы № Т1 – $0,299 \pm 0,017$ нмоль/л. У коров № Т6 и № 478 концентрации ЭД имели промежуточные значения: $0,277 \pm 0,023$ и $0,235 \pm 0,008$ нмоль/л соответственно. Анализ содержания ЭД по сеансам ОРУ не выявил общих закономерностей в динамике показателя между отдельными животными (рис. 1).

Дисперсионный анализ показал достоверное влияние индивидуальных особенностей доноров на изменчивость концентрации ЭД, которые обуславливали 48,11 % ($p < 9,1 \cdot 10^{-5}$) вариабельности данного показателя. Значимого влияния сеанса ОРУ на изменчивость содержания ЭД в сыворотке крови не обнаружено. Использование модели, учитывающей оба выше-названных фактора, позволило объяснить 64,73 % ($p = 0,002$) вариабельности концентрации ЭД.

Расчет коэффициентов ранговой корреляции Спирмена показал наличие высокодостоверной отрицательной связи концентрации ЭД с уровнем ЛГ ($r_s = -0,71$, $p < 0,001$). На уровне тенденции была установлена отрицательная корреляция с содержанием АМГ ($r_s = -0,33$, $p < 0,10$). В отношении остальных половых гормонов связи с уровнем ЭД в дни проведения ОРУ выявлено не было. Как показано в таблице 1, мы наблюдали достоверные различия между некоторыми категориями в содержании ЛГ и АМГ, что является отражением корреляционной связи между концентрацией данных половых гормонов с концентрацией ЭД.

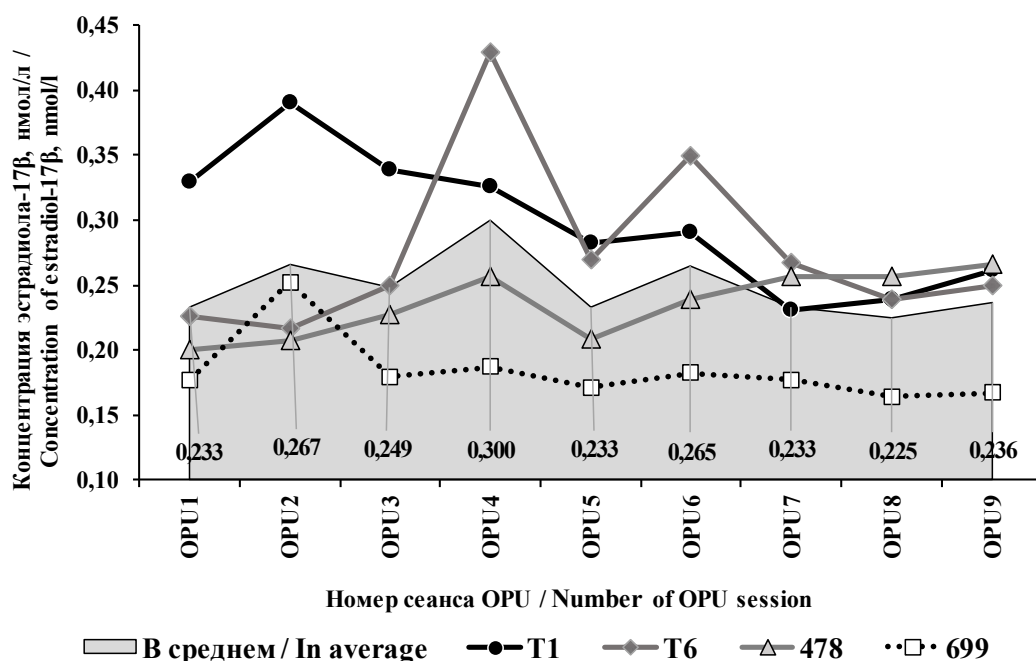


Рис. 1. Содержание эстрадиола-17β в сыворотке крови коров-доноров тагильской породы по сеансам извлечения ооцитов. ОПУ – УЗИ-ассистированная аспирация фолликулов; T1, T6, 478, 699 – индивидуальные номера коров-доноров; средние значения концентрации ЭД в сеансах ОПУ показаны над осью X /

Fig. 1. Estradiol-17β content in blood serum of donor cows of Tagil breed according by oocyte retrieval sessions. OPU – ultrasound-guided follicle aspiration; T1, T6, 478, 699 – identification numbers of donor cows; mean values of E2 concentration in OPU sessions are shown above the axis X

Таблица 1 – Содержание половых гормонов в сыворотке крови коров-доноров тагильской породы разных категорий /

Table 1 – The content of reproductive hormones in the blood serum of donor cows of the Tagil breed by categories

Показатель / Index	Категория (M±SE / лимиты) / Category (M±SE / limits)			
	I	II	III	IV
Число сеансов ОПУ / Number of OPU sessions	7	11	12	6
Содержание ЭД, нмол/л / E2 content, nmol/L	0,174±0,003	0,220±0,005	0,263±0,004	0,361±0,017
Лимиты ЭД, нмол/л / E2 limits, nmol/L	0,164–0,182	0,187–0,239	0,250–0,291	0,326–0,429
Прогестерон, нмол/л / Progesterone, nmol/L	4,250±1,569	3,949±1,160	3,876±1,206	7,366±1,884
ФСГ, нг/мл / FSH, ng/ml	22,72±0,857	24,22±0,975	24,07±0,717	22,07±0,741
ЛГ, нг/мл / LH, ng/L	7,072±0,237 ^{a, b, c}	3,715±0,496 ^{a, d}	3,093±0,280 ^b	2,567±0,182 ^{c, d}
АМГ, нг/мл / AMH, ng/L	0,971±0,095	1,874±0,393 ^a	1,196±0,186 ^d	0,743±0,053 ^{a, d}

Примечания: ОПУ – УЗИ-ассистированная аспирация фолликулов; М – среднее значение; SE – стандартная ошибка; лимиты – минимальное и максимальное значения; ЭД – эстрадиол 17β; ФСГ – фолликулостимулирующий гормон; ЛГ – лютеинизирующий гормон; АМГ – антимюллеров гормон; различия между значениями, маркированными одинаковыми надстрочными буквами: a, b, c – достоверны при p<0,01, d – p<0,05 /

Notes: OPU – ultrasound-guided follicle aspiration; M – mean value, SE – standard error, limits – minimum and maximum values, E2 – estradiol-17β, FSH – follicle-stimulating hormone, LH – luteinizing hormone, AMH – anti-mullerian hormone; differences between values marked with the same superscript letters: a, b, c – significant at p<0.01, d – p<0.05

Анализ показателей результативности извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro* у отдельных коров-доноров (табл. 2) показал более высокую долю развития blastocysts у коровы-донора № 699, характери-

зующуюся достоверно меньшим уровнем ЭД в крови по сравнению с другими коровами-донорами, при этом по отношению к донорам № T1 и T6 различия были достоверны (p<0,05).

Таблица 2 – Результативность извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro* у отдельных коров-доноров тагильской породы (n = 4) /

Table 2 – Efficiency of oocyte retrieval and *in vitro* embryos production in individual donor cows of the Tagil breed (n = 4)

Показатель / Index	Корова-донор / Donor cow			
	№ 699	№ 478	№ Т6	№ Т1
ЭД (OPU1 – OPU9), нмол/л (M±SE) / E2 (OPU1 – OPU9), nmol/L (M±SE)	0,184±0,009 ^{a, b, c}	0,235±0,008 ^{c, d}	0,277±0,023 ^b	0,299±0,017 ^{a, d}
ЭД (день 0), нмол/л / E2 (Day 0), nmol/L	0,183	0,206	0,272	0,240
ЭД (день 1), нмол/л / E2 (Day 1), nmol/L	0,189	0,210	0,291	0,259
Число фолликулов, M±SE / Number of follicles, M±SE	9,4±1,8	10,1±1,0	9,6±0,8	9,4±1,2
Число извлеченных ОКК, M±SE / Number of retrieved COCs, M±SE	5,0±0,9	5,1±1,0	4,0±0,6	5,0±0,8
Число пригодных ОКК, M±SE / Number of suitable COCs, M±SE	4,1±0,8	3,4±0,7	3,2±0,5	3,1±0,7
Доля пригодных ОКК, % / Rate of suitable COCs, %	82,2±5,7	67,4±6,9	80,6±6,6	62,2±7,2
Число созревших ооцитов, M±SE / Number of matured oocytes, M±SE	3,8±0,9	3,1±0,7	2,8±0,6	2,9±0,6
Доля созревших ооцитов, % / Oocyte maturation rate, %	91,9±4,5	90,3±5,3	86,2±6,4	92,9±4,9
Число подробившихся эмбрионов, M±m / Number of cleaved embryos, M±SE	3,6±0,9	2,2±0,6	1,9±0,5	1,8±0,4
Доля подробившихся эмбрионов, % / Embryo cleavage rate, %	86,5±5,6	64,5±8,6	58,6±9,1	57,1±9,4
Число бластоцист, M±SE / The number of blastocysts, M±SE	2,4±0,7 ^{d, e}	1,1±0,5	0,8±0,4 ^d	0,6±0,2 ^e
Доля развития бластоцист, % / Blastocyte development rate, %	59,5±8,1 ^{d, e}	32,3±8,4	24,1±7,9 ^d	17,9±7,2 ^e

Примечания: М – среднее значение, SE – стандартная ошибка, ОКК – ооцит-кумюлюсные комплексы; ЭД – эстрадиол; различия между значениями, маркированными одинаковыми надстрочными буквами: а – достоверны при $p < 0,001$, b, c – $p < 0,01$, d, e – $p < 0,05$ (на основании расчета критерия Манна-Уитни) /

Notes: M – mean value, SE – standard error, E2 – estradiol-17 β , COCs – cumulus oocyte complexes; the differences between values marked with the same superscript letters: a – significant at $p < 0.001$; b, c – $p < 0.01$; d, e – $p < 0.05$ (based on the calculation of the Mann-Whitney criterion)

Расчет коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между концентрацией ЭД и показателями, характеризующими результативность OPU, показал наличие достоверной отрицательной связи ($p < 0,05$) с долей подробившихся эмбрионов, числом и долей развития бластоцист: $r_s = -0,35$, $-0,37$ и $-0,38$ соответственно. Расчет коэффициента корреляции Пирсона показал усиление корреляционной зависимости для показателя степени дробления эмбрионов ($r_p = -0,41$, $p < 0,02$), что можно рассматривать как указание на наличие дозозависимого эффекта (рис. 2).

Анализ показателей результативности OPU по категориям (табл. 3) показал получение достоверно большего числа бластоцист в среднем за сеанс OPU в категории I с наименьшими

($<M - \sigma$) концентрациями ЭД, по сравнению с категорией IV с наибольшими концентрациями ЭД ($>M + \sigma$) – $2,57 \pm 0,81$ против $0,17 \pm 0,17$ ($p < 0,01$), что достигалось, главным образом, за счет более высокой доли раздробившихся эмбрионов ($86,2 \pm 13,0$ против $42,1 \pm 22,1$ %, $p < 0,05$) и доли развития эмбрионов до стадии бластоцисты ($62,1 \pm 18,3$ против $5,3 \pm 10,0$ %, $p < 0,01$). На уровне тенденции следует отметить более высокую долю пригодных ОКК в категории I по сравнению с категорией IV – $87,9 \pm 12,3$ против $73,1 \pm 18,1$ %. Полученные нами данные согласуются с результатами исследований, проведенных на человеке, в которых было показано негативное влияние повышенных концентраций эстрадиола в крови на число получаемых IVP-эмбрионов [13, 15].

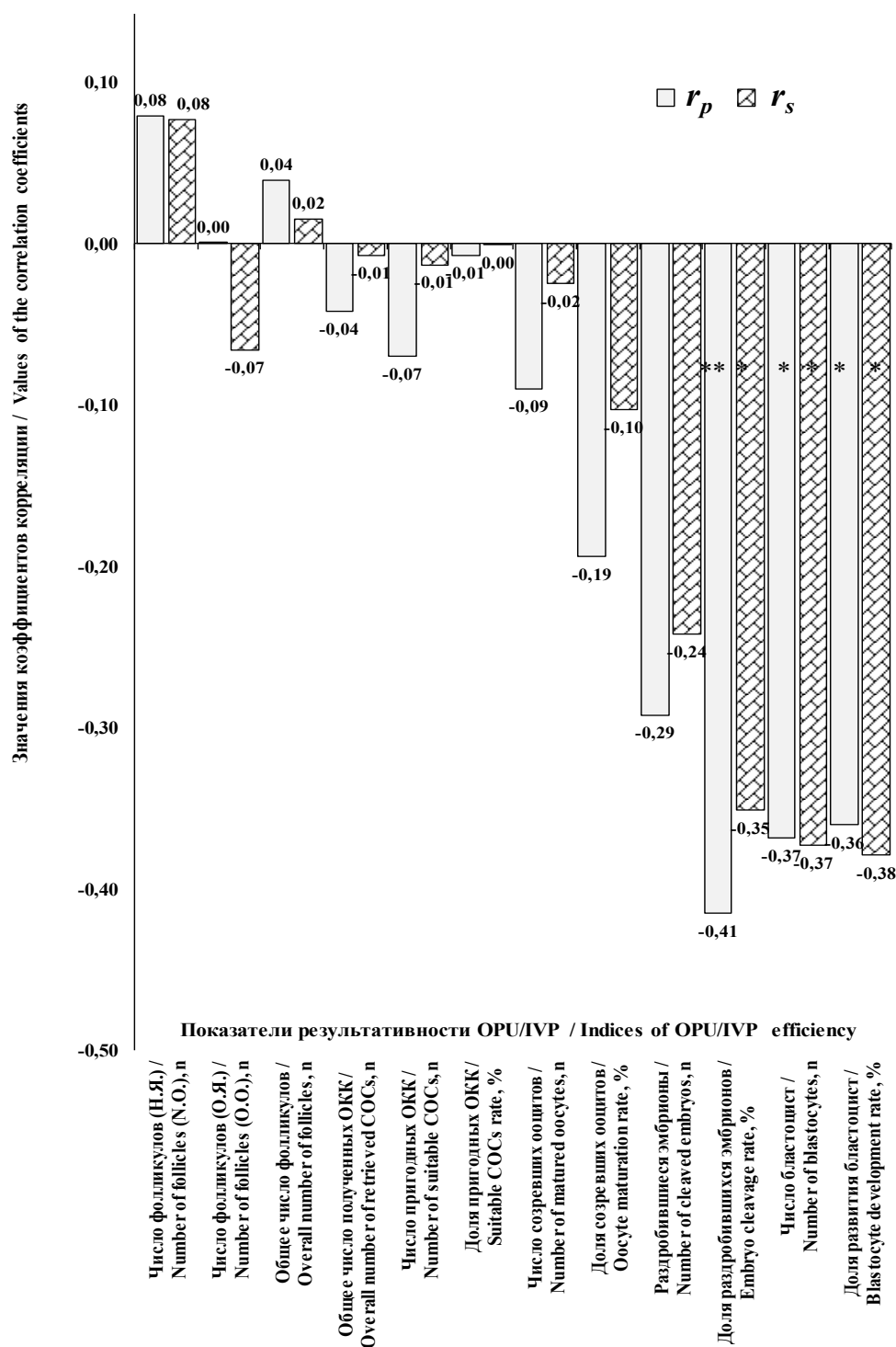


Рис. 2. Связь содержания эстрадиол-17β в сыворотке крови коров-доноров тагильской породы с показателями результативности извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro*. OPU – УЗИ-ассистированная аспирация фолликулов, IVP – продукция эмбрионов *in vitro*, r_p – коэффициент корреляции Пирсона, r_s – коэффициент корреляции Спирмена; значения коэффициента корреляции достоверны при * $p < 0,05$, ** $p < 0,02$) /

Fig. 2. Correlation of estradiol-17β content in blood serum of donor cows of Tagil breed with indices of efficiency of oocyte retrieval and *in vitro* embryos production. OPU – ultrasound-guided follicle aspiration, IVP – *in vitro* embryo production, r_p – Pearson correlation coefficient. r_s – Spearman correlation coefficient; values of the correlation coefficients are significant at * $p < 0.05$, ** $p < 0.02$)

Таблица 3 – Результативность извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro* в зависимости от уровня эстрадиола-17β в сыворотке крови коров-доноров тагильской породы /

Table 3 – The efficiency of oocyte retrieval and *in vitro* embryos production depending on the level of estradiol-17β in the blood serum of donor cows of Tagil breed

Показатель / Index	Значения показателей в категориях (M±SE) / The values of indices by categories (M±SE)			
	I	II	III	IV
Число сеансов OPU / Number of OPU sessions	7	11	12	6
Концентрация ЭД, нмол/л / E2 concentration, nmol/L	0,174±0,003	0,220±0,005	0,263±0,004	0,361±0,017
Лимиты ЭД, нмол/л / E2 limits, nmol/L	0,164–0,182	0,187–0,239	0,250–0,291	0,326–0,429
Число фолликулов (Н.Я.), n / Number of follicles (N.O.), n	4,43±1,07	4,91±0,55	5,50±0,61	5,33±0,61
Число фолликулов (О.Я.), n / Number of follicles (O.O.), n	4,14±0,77	5,20±0,59	5,00±0,73	5,00±1,21
Общее число фолликулов, n / Overall number of follicles, n	8,57±1,49	9,45±0,78	10,33±1,23	9,83±1,68
Число полученных ОКК, n / Number of retrieved COCs, n	4,71±1,11	4,45±0,56	5,08±0,77	4,33±1,23
Число пригодных ОКК, n / Number of suitable COCs, n	4,14±1,01	3,00±0,50	3,67±0,53	3,17±0,95
Доля пригодных ОКК, % / Rate of suitable COCs, %	87,9±12,3	67,3±14,1	72,1±12,9	73,1±18,1
Число созревших ооцитов, n / Number of matured oocytes, n	3,71±1,06	2,82±0,54	3,25±0,55	2,83±0,95
Доля созревших ооцитов, % / Oocyte maturation rate, %	89,7±11,5	93,9±7,2	88,6±9,2	89,5±13,7
Раздробившиеся эмбрионы, n / Number of cleaved embryos, n	3,57±1,09	2,00±0,45	2,50±0,51	1,33±0,49
Доля раздробившихся эмбрионов, % / Embryo cleavage rate, %	86,2±13,0*	66,7±14,2	68,2±13,4	42,1±22,1*
Число бластоцист, n / Number of blastocytes, n	2,57±0,81**	0,91±0,39	1,25±0,37	0,17±0,17**
Доля развития бластоцист, % / Blastocyte development rate, %	62,1±18,3**	30,3±13,9	34,1±13,7	5,3±10,0**

Примечания: М – среднее значение, SE – стандартная ошибка, лимиты – минимальное и максимальное значения, Н.Я. – не овуляторный яичник, О.Я. – овуляторный яичник, ЭД – эстрадиол-17β, ОКК – ооцит-кумулусные комплексы; различия между группами достоверны при *p<0,05, **p<0,01 (на основании критерия Манна-Уитни) /

Notes: M – mean value, SE – standard error, limits – minimum and maximum values, N.O. – non-ovulatory ovary, O.O. – ovulatory ovary, E2 – estradiol-17β, COCs – cumulus-oocyte complexes; differences between groups are significant at *p<0.05, **p<0.01 (based on the Mann-Whitney test).

Как показано на рисунке 3, за весь период использования от коровы-донора, характеризующейся достоверно меньшим средним уровнем эстрадиола-17β в крови (0,184 против 0,235-0,299 нмол/л, p<0,05), было получено 22 эмбриона в стадии бластоцисты (2,57±0,81 бластоцисты за сеанс OPU), что превышало значения данного показателя у других коров (5–10 эмбрионов).

Закключение. Таким образом, полученные нами данные показали высокую вариабельность содержания эстрадиола-17β в крови коров-доноров тагильской породы при проведении сеансов OPU. Вклад фактора «животное»

в изменчивость данного показателя по результатам дисперсионного анализа составил 48,11 % (p<9,1*10⁻⁵). Результаты индивидуального анализа количественных и качественных показателей ОКК, а также компетенции ооцитов к эмбриональному развитию *in vitro* показали достоверные различия в доле развития ооцитов до стадии бластоцисты между коровами-донорами с низким и высоким содержанием эстрадиола-17β. По сравнению с коровами-донорами с наиболее высокими средними концентрациями эстрадиола-17β различия были достоверны (p<0,05).

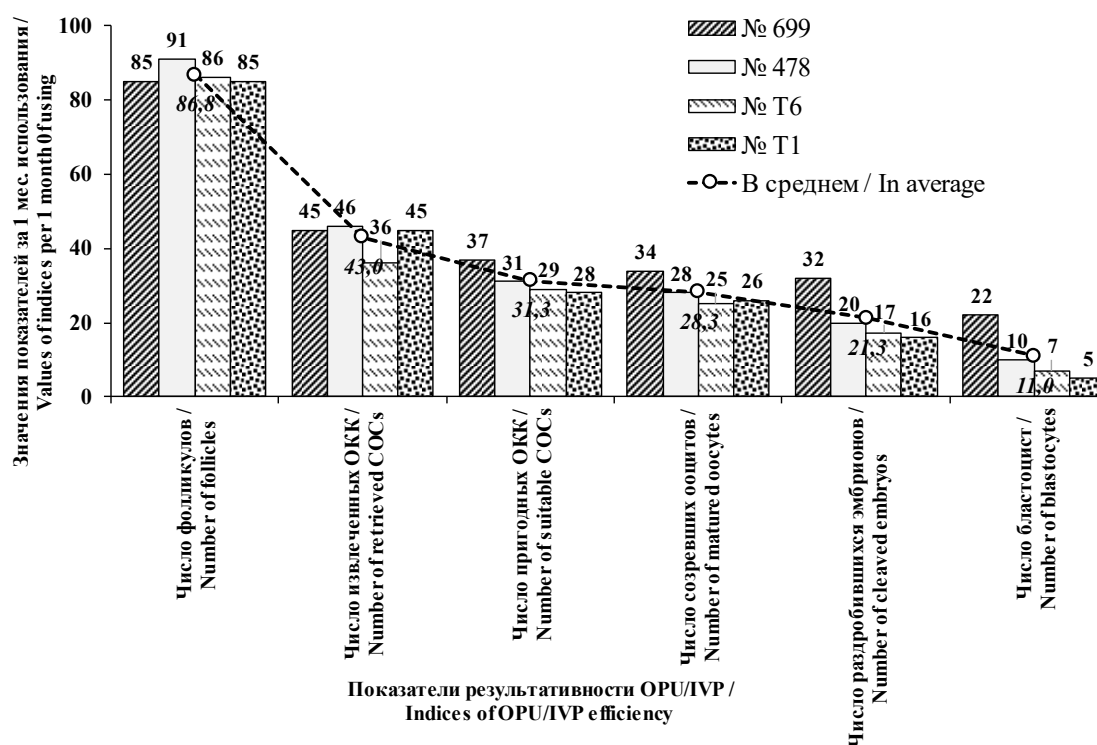


Рис. 3. Общая результативность извлечения ооцитов и получения эмбрионов *in vitro* у индивидуальных коров-доноров тагильской породы. T1, T6, 478, 699 – индивидуальные номера коров-доноров; средние значения показателей по всем донорам приведены курсивом /

Fig. 3. Overall efficiency of oocyte retrieval and *in vitro* embryos production in individual donor cows of Tagil breed. T1, T6, 478, 699 – identification numbers of donor cows; the mean values of indices for all donors are given by italic letters

Учитывая наличие сильной корреляционной зависимости между концентрацией эстрадиола-17 β в день «0» гормонально синхронизированного полового цикла и средней концентрацией эстрадиола-17 β в дни проведения OPU ($r_s = 0,86$), содержание данного гормона в сыворотке крови в день прихода в охоту может рассматриваться в качестве потенциального биомаркера для отбора коров-доноров тагильской

породы, характеризующихся более высокой компетенцией ооцитов к развитию в системе *in vitro* и более высоким выходом бластоцист. Широкому практическому внедрению результатов исследований, на наш взгляд, должно предшествовать проведение дальнейших исследований на большей выборке с вовлечением других пород крупного рогатого скота.

References

1. Чинаров Р. Ю. Развитие технологии прижизненного получения ооцитов у коров: современное состояние и направления исследований (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2024;59(2):194–220. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.2.194rus> EDN: ZNTDKA
Chinarov R. Yu. Developing the ovum pick-up technology in cattle: state-of-the-art and research directions (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2024;59(2):194–220. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.2.194rus>
2. Pasquariello R., Bogliolo L., Di Filippo F., Giuseppe Leoni G., Nieddu S., Podda A. et al. Use of assisted reproductive technologies (ARTs) to shorten the generational interval in ruminants: current status and perspectives. *Theriogenology*. 2024;225:16–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2024.05.026>
3. Ferré L. B., Alvarez-Gallardo H., Romo S., Fresno C., Stroud T., Stroud B. et al. Transvaginal ultrasound-guided oocyte retrieval in cattle: State-of-the-art and its impact on the *in vitro* fertilization embryo production outcome. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023;58(3):363–378. DOI: <https://doi.org/10.1111/rda.14303>
4. Bahr J. M. Ovary. In: Skinner MK. (ed.) *Encyclopedia of reproduction*. 2nd ed. Oxford: Academic Press, 2018. pp. 1–9.

5. Taya K., Kaneko H., Takedomi T., Kishi H., Watanabe G. Role of inhibin in the regulation of FSH secretion and folliculogenesis in cows. *Animal Reproduction Science*. 1996;42(1-4):563–570.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(96\)01532-1](https://doi.org/10.1016/0378-4320(96)01532-1)
6. Moorey S., Hessock E. A., Edwards J. L. Preovulatory follicle contributions to oocyte competence in cattle: importance of the ever-evolving intrafollicular environment leading up to the luteinizing hormone surge. *Journal of Animal Science*. 2022;100(7):skac153. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skac153>
7. Younis A. I., Brackett B. G., Fayrer-Hosken R. A. Influence of serum and hormones on bovine oocyte maturation and fertilization in vitro. *Gamete Research*. 1989;23(2):189–201.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mrd.1120230206>
8. Maksura H., Akon N., Islam M. N., Akter I., Modak A. K., Khatun A. et al. Effects of estradiol on in vitro maturation of buffalo and goat oocytes. *Reproductive Medicine and Biology*. 2021;20(1):62–70.
DOI: <https://doi.org/10.1002/rmb2.12350>
9. Sood P., Zachut M., Dekel I., Dube H., Jacoby S., Moallem U. Preovulatory follicle characteristics and oocyte competence in repeat breeder dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(11):9372–9381.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12973>
10. Yu L., Liu M., Wang Z., Liu T., Liu S., Wang B. et al. Correlation between steroid levels in follicular fluid and hormone synthesis related substances in its exosomes and embryo quality in patients with polycystic ovary syndrome. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2021;19(1):74. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12958-021-00749-6>
11. Li Q., Ruan L., Zhu L., Yang Z., Zhu M., Luo Y. Elevated estradiol levels in frozen embryo transfer have different effects on pregnancy outcomes depending on the stage of transferred embryos. *Scientific Reports*. 2022;12(1):5592. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09545-7>
12. Perry G. A., Cushman R. A., Perry B. L., Schiefelbein A. K., Northrop E. J., Rich J. J. J., Perkins S. D. Role of preovulatory concentrations of estradiol on timing of conception and regulation of the uterine environment in beef cattle. *Systems Biology in Reproductive Medicine*. 2020;66(1):12–25.
DOI: <https://doi.org/10.1080/19396368.2019.1695979>
13. Bourdon M., Maignien C., Ouazana M., Kefelian F., Marcellin L., Patrat C. et al. Estradiol and reproductive outcomes in ART: when too much of a good thing hurts. *Reproductive BioMedicine Online*. 2025;51(6):105131.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2025.105131>
14. Huang W., Wei L., Tang J., Tang J., Nong L., Tang N. et al. Impact of relative estradiol changes during ovarian stimulation on blastocyst formation and live birth in assisted reproductive technology. *Scientific Reports*. 2025;15:15617. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00200-5>
15. Araki N., Sato K., Hayashi K., Miyamoto A., Fukui Y. Relationships among follicular fluid Estradiol-17 β concentration, morphology of cumulus-oocyte complex and developmental capacity of individually matured, fertilized and cultured bovine oocytes *in vitro*. *Journal of Reproduction and Development*. 1998;44(4):359–365.
DOI: <https://doi.org/10.1262/jrd.44.359>
16. Aslih N., Michaeli M., Mashenko D., Ellenbogen A., Lebovitz O., Atzmon Y., Shalom-Paz E. More is not always better-lower estradiol to mature oocyte ratio improved IVF outcomes. *Endocrine Connections*. 2021;10(2):146–153. DOI: <https://doi.org/10.1530/EC-20-0435>
17. Argov N., Arav A., Sklan D. Number of oocytes obtained from cows by OPU in early, but not late lactation increased with plasma insulin and estradiol concentrations and expression of mRNA of the FSH receptor in granulosa cells. *Theriogenology*. 2004;61(5):947–962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.07.014>
18. Kussano N. R., Franco M. M., Dode M. A. N. Biochemical profiling of the follicular environment to predict oocyte competence in cattle. *PLoS ONE*. 2024;19(3):e0298316. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298316>
19. Сингина Г. Н., Шедова Е. Н., Uzbekov R., Чинаров Р. Ю., Луканина В. А., Uzbekova S. Присутствие внеклеточных везикул фолликулярного происхождения в среде созревания донорских ооцитов коров повышает их способность к эмбриональному развитию *in vitro*. *Сельскохозяйственная биология*. 2023;58(6):1100–1111.
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1100rus> EDN: DBTEQB
- Singina G. N., Shedova E. N., Uzbekov R., Chinarov R. Yu., Lukanina V. A., Uzbekova S. Presence of follicular fluid extracellular vesicles during in vitro maturation of donor cow (*Bos taurus*) oocytes increases their ability to *in vitro* embryo development. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2023;58(6):1100–1111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1100rus>

Вклад авторов: Чинаров Р. Ю. – концепция и план исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Сингина Г. Н. – концепция и план исследования, анализ данных; Митяшова О. С., Луканина В. А., Лебедева И. Ю. – анализ данных; Гусев И. В. – концепция и план исследования.

Сведения об авторах

✉ **Чинаров Роман Юрьевич**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник лаборатории эмбриональных технологий ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», поселок Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская обл., Российская Федерация 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6511-5341>, e-mail: roman_chinarov@mail.ru

Сингина Галина Николаевна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории эмбриональных технологий ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», поселок Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская обл., Российская Федерация 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0198-9757>

Митяшова Ольга Сергеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», поселок Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская обл., Российская Федерация 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Луканина Виктория Александровна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории эмбриональных технологий ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», поселок Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская обл., Российская Федерация 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4744-7873>

Лебедева Ирина Юрьевна, доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», поселок Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская обл., Российская Федерация 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

Гусев Игорь Викторович, кандидат биол. наук, руководитель Национального центра генетических ресурсов сельскохозяйственных животных ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», поселок Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская обл., Российская Федерация 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2346-4313>

Author contributions: Chinarov R. Yu. – study conception and design, data analysis, manuscript preparation; Singina G. N. – study conception and design, data analysis; Mityashova O. S., Lukanina V. A., Lebedeva I. Yu – data analysis; Gusev I. V. – study conception and design.

Information about the authors

✉ **Roman Yu. Chinarov**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Laboratory of Embryonic Technologies, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, 60, Podolsk city district, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6511-5341>, e-mail: roman_chinarov@mail.ru

Galina N. Singina, PhD in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Embryonic Technologies, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0198-9757>

Olga S. Mityashova, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Biological Problems of Animal Reproduction, Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Viktoria A. Lukanina, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Embryonic Technologies, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4744-7873>

Irina Yu. Lebedeva, DSc in Biological Science, chief researcher, the Laboratory of Biological Problems of Animal Reproduction, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, 60, Podolsk city district, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

Igor V. Gusev, PhD in Biological Science, Head of the National Center for Genetic Resources of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, 60, Podolsk city district, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2346-4313>

✉ – Для контактов / Corresponding author