

О.В. Алейникова

А.П. Ермилова,

О.С. Митяшова

И.Ю. Лебедева ✉

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ имени
академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, Подольск, Россия

✉ irladv@mail.ru

Поступила в редакцию: 09.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Алейникова О.В., Ермилова А.П.,
Митяшова О.С., Лебедева И.Ю.

Липидные и стероидные профили крови у коров и телок голштинской породы при разном выходе эмбрионов после полиовуляторной стимуляции

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Изменчивость метаболического и гормонального статуса коров до и во время ранней стельности модулирует микросреду репродуктивных органов, что может влиять на жизнеспособность ооцитов и развивающихся эмбрионов при стимуляции одиночной или множественной овуляции.

Методы. Для изучения липидных и стероидных профилей крови в связи с выходом получаемых *in vivo* (IVD) эмбрионов были проанализированы 43 цикла стимуляции полиовуляции у 33 телок и 44 цикла у 26 коров. Взятие крови для анализа содержания гормонов и липидов проводили в 1-й день искусственного осеменения (ИО) и через 7 дней. Согласно морфологической оценке IVD эмбрионов все циклы были разделены на 3 типа: I — >5 пригодных для трансплантации морул и бластоцист (М+БЛ); II — 2–5 М+БЛ и III — 0–1 М+БЛ.

Результаты. У коров в циклах I типа на 7-й день после ИО содержание общего холестерина в крови было в 1,2 раза ниже, чем в циклах III типа, а концентрация прогестерона превышала таковую в циклах II и III типа (в 1,8 и 5,4 раза, соответственно). У телок в циклах I типа через неделю после ИО уровень прогестерона был в 2,1–2,2 раза выше, чем в циклах II и III типа, однако концентрация холестерина не различалась и была в 2,3–2,4 раза ниже, чем у коров. Таким образом, содержание холестерина более 6,7 ммоль/л в крови коров через неделю после осеменения могло негативно сказаться на качестве IVD эмбрионов.

Ключевые слова: коровы и телки голштинской породы, полиовуляторная стимуляция, получение эмбрионов *in vivo*, морулы и бластоцисты, холестерин, триглицериды, прогестерон, эстрадиол-17β

Для цитирования: Алейникова О.В., Ермилова А.П., Митяшова О.С., Лебедева И.Ю. Липидные и стероидные профили крови у коров и телок голштинской породы при разном выходе эмбрионов после полиовуляторной стимуляции. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 32–38.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-32-38>

Olga V. Aleynikova

Anna P. Yermilova

Olga S. Mityashova

Irina Yu. Lebedeva ✉

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Podolsk
Russia.

✉ irladv@mail.ru

Received by the editorial office: 09.04.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Aleynikova O.V., Yermilova A.P.,
Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu.

Lipid and steroid blood profiles in Holstein cows and heifers at different embryo yields after polyovulatory stimulation

ABSTRACT

Relevance. Variability in the metabolic and hormonal status of cows before and during early pregnancy modulates the microenvironment of the reproductive organs, which may affect the viability of oocytes and developing embryos when stimulating single or multiple ovulation.

Methods. To study blood lipid and steroid profiles in relation to the yield of *in vivo* derived (IVD) embryos, 43 polyovulation stimulation cycles in 33 heifers and 44 cycles in 26 cows were analyzed. Blood collection for analysis of the hormone and lipid content was performed on the 1st day of artificial insemination (AI) and 7 days later. According to the morphological assessment of IVD embryos, all cycles were divided into 3 types: I — > 5 suitable for transplantation morulae and blastocysts (M+BL); II — 2–5 M+BL and III — 0–1 M+BL.

Results. In cows, in type I cycles, on the 7th day after AI, the total cholesterol content in the blood was 1.2 times lower than in type III cycles, and the progesterone concentration exceeded that in type II and III cycles (1.8 and 5.4 times, respectively). In heifers, in type I cycles, one week after AI, the progesterone level was 2.1–2.2 times higher than in type II and III cycles, but the cholesterol concentration did not differ and was 2.3–2.4 times lower than in cows. Thus, cholesterol levels exceeding 6.7 mmol/L in the blood of cows one week after insemination could negatively affect the quality of IVD embryos.

Key words: holstein cows, heifers, polyovulatory stimulation, *in vivo* derived embryos, morulae and blastocysts, cholesterol, triglycerides, progesterone, estradiol-17β

For citation: Aleynikova O.V., Yermilova A.P., Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu. Lipid and steroid blood profiles in Holstein cows and heifers at different embryo yields after polyovulatory stimulation. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 32–38 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-32-38>

Введение/Introduction

Высокие эмбриональные потери являются основной причиной низких показателей воспроизводства в современном молочном скотоводстве. Наибольшие потери наблюдаются у коров голштинской породы, у которых они составляют в среднем 35–45% в первый месяц беременности и около 12% — на более поздних стадиях [1]. Эмбриональная/фетальная смертность значительно увеличивает интервалы между отёлами, а также показатели выбраковки по причине низкой фертильности, тем самым повышая затраты на производство молока [2].

Установлено, что почти половина всех потерь стельности у крупного рогатого скота (КРС) приходится на первую неделю после осеменения, т.е. на предимплантационный период [3]. Поэтому особенно актуален вопрос об идентификации факторов, влияющих на начальные стадии эмбриогенеза, тогда как изменчивость таких факторов могла бы быть использована в качестве одного из критериев для ранней диагностики потери стельности. Рутинный метод искусственного осеменения (ИО) не позволяет отследить гибель эмбрионов в предимплантационный период. В то же время технология получения *in vivo* (IVD: *in vivo derived*) эмбрионов, в которой вымывание зародышей проводят на 7–8-й день после осеменения, обеспечивает удобную модель для изучения самых ранних стадий эмбриогенеза [4]. Показано, что качество и выход жизнеспособных IVD эмбрионов зависят от состояния метаболической и эндокринной систем в организме матери [5], поэтому оценка этого состояния необходима для понимания причин, приводящих к различным нарушениям в раннем развитии эмбрионов.

Как известно, ооцит играет ключевую роль в женской фертильности, продуцируя факторы, необходимые для предимплантационного эмбрионального развития. Вместе с тем для зачатия и последующего сохранения беременности также критически важно микроокружение, в котором развиваются ооциты, зиготы и ранние эмбрионы [6]. Это микроокружение зависит от гормонального и метаболического статуса матери, который у молочных коров после отёла подвергается метаболическому стрессу, связанному с отрицательным энергетическим балансом [7]. Изменение уровней метаболитов, особенно компонентов липидного обмена, в послеотельный период оказывает выраженный негативный эффект на состояние здоровья и воспроизводительную функцию крупного рогатого скота [8]. При этом нарушения обменных процессов у молочных коров могут влиять на состав жидкостей репродуктивного тракта, окружающих ооциты, зиготы и эмбрионы [9].

Метаболизм материнских липидов до и во время раннего эмбриогенеза оказывает глубокое воздействие на качество ооцитов и выживаемость эмбрионов, а также на их микроокружение,

определяя потенциал развития потомства, однако механизмы такого воздействия недостаточно изучены [10, 11]. Липиды, участвующие в метаболических процессах, хранятся в цитоплазматических липидных каплях почти всех живых клеток и состоят в основном из триглицеридов, служащих главным источником энергии для ооцитов и эмбрионов, и из эфиров холестерина [12]. До активации эмбрионального генома, которая происходит на стадии 8–16 клеток, развитие зародыша почти полностью зависит от эндогенных источников энергии, аккумулированных ооцитом [13]. Значительные изменения липидного профиля эмбриона, происходящие во время геномной активации, могут быть связаны с индукцией механизмов, регулирующих липидный обмен для подготовки к переходу на стадию морулы и бластоцисты [14].

Холестерин, помимо внутриклеточных депо, входит в состав плазматических мембран клеток, участвует в многочисленных сигнальных событиях, является предшественником стероидных гормонов, также, как и триглицериды, содержится в жидкости фолликулов и секрете яйцевода [14, 15]. Мембранный холестерин играет роль вторичного мессенджера при функционировании сигнального пути Hedgehog, который обеспечивает нормальное эмбриональное развитие [16]. В исследованиях *in vitro* было показано, что снижение содержания холестерина в эмбрионах уменьшает их способность к развитию до стадии бластоцисты [17].

После овуляции яйцеклетки оставшиеся фолликулярные клетки подвергаются терминальной дифференцировке с образованием желтого тела, клетки которого продуцируют стероидные гормоны, в первую очередь, прогестерон и эстрадиол-17 β , необходимые для сохранения беременности, особенно на ранних этапах [18, 19]. Для синтеза стероидных гормонов овариальные клетки используют экзогенный холестерин, попадающий через кровообращение в виде липопротеинов высокой плотности, и эндогенный холестерин, синтезируемый в яичнике *de novo*. Прогестерон (P4) влияет на качество яйцеклетки, состояние эндометрия, рост и удлинение бластоцисты, синтез интерферона- α , подавляющего регрессию ЖТ и элиминацию эмбриона [20]. Эстрогены стимулируют перистальтику яйцевода и его секреторную активность, синтез собственных и прогестероновых рецепторов в эндометрии, рецептивность эндометрия, а также изменяют экспрессию ряда генов в яйцеводе и матке, способствуя формированию оптимальной среды для гамет и эмбрионов [21].

Таким образом, липиды не только являются основным источником энергии для развития ооцитов и эмбрионов и субстратом для синтеза стероидных гормонов, поддерживающих установление и сохранение беременности, но также участвуют в переключении важных регуляторных путей, оказывая значительное влияние на предимплантационное эмбриональное развитие в репродуктивном тракте животного. Однако до сих пор нет

достаточной информации о взаимосвязи показателей липидного и стероидного профиля в первую неделю после осеменения и их ассоциации с качеством и потенциалом к развитию эмбрионов у КРС.

Важно отметить, что состояние обмена веществ и связанной с ним эндокринной системы у телок и коров кардинально отличается, поскольку организм последних подвергается послеродовому метаболическому стрессу [22]. Следовательно, одни и те же факторы могут по-разному влиять на результативность получения IVD эмбрионов у КРС в зависимости от возрастных особенностей, что подтверждается данными о разном характере действия тиреоидных гормонов на качество таких зародышей у голштинских коров и телок [4].

Цель настоящей работы состояла в изучении роли липидного обмена, сопряженного с овариальным стероидогенезом, в поддержании раннего развития эмбрионов у крупного рогатого скота в зависимости от наличия предшествующей стельности. В связи с этим был проведен сравнительный анализ содержания холестерина, триглицеридов, прогестерона и эстрадиола-17 β в крови коров и телок голштинской породы в первую неделю после осеменения при разном выходе IVD эмбрионов на стадии морулы и бластоцисты.

Материал и методы исследования / Material and methods

Экспериментальное исследование проводили на базе Волоколамского отделения АО «Московское» по племенной работе» в 2021–2023 гг. Объектом исследования служили коровы 1–2-й лактации и телки голштинской породы, которые находились в одинаковых условиях, включающих привязное содержание с ежедневным выгулом. Доеение коров было трехкратным, средний удой составлял около 12 тыс. кг молока за 305 дней лактации. Животные получали кормовой рацион в соответствии с возрастом согласно зоотехническим нормам¹. Упитанность во время осеменения составляла у телок от 3,5 до 4,0 баллов, а у коров — от 3,5 до 3,75 баллов. В исследовании были использованы только животные без гинекологических патологий.

Эксперименты с животными проводили согласно принципам ветеринарной медицинской этики². Протоколы исследований на КРС были одобрены комиссией по биоэтике ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (протокол № 2 от 18.01.2021).

Синхронизацию полового цикла, сопряженную с последующей гормональной стимуляцией полиовуляции, выполняли с 11-й недели после отела у коров и в возрасте от 12-ти до 18-ти месяцев у телок. Схема внутримышечного введения

и дозировка гормональных препаратов были детально описаны нами ранее [4] и соответствовали следующему протоколу: 1 и 11 день процедуры — 2 мл эстрофана («Биовета», Чехия), 24–27 дни — препарат Плюсет («Laboratorios Calier», Испания) через каждые 12 ч, снижая дозу с 4,0 мл до 0,5 мл, 26 день — 3 мл эстрофана, 28 день — 5 мл сурфатона («Мосагроген», Москва).

Всех животных осеменяли двукратно, на 28-й и 29-й дни от начала гормональной обработки, при использовании спермы быков с высокой фертильностью, ранее подтвержденной по результативности осеменения коров в Волоколамском отделении АО «Московское». Всего в исследование вошли 43 цикла стимуляции полиовуляции у 33 телок (1–2 цикла на телку) и 44 цикла у 26 коров (1–3 цикла на корову).

Через 7 дней после первого дня ИО нехирургическим методом проводили вымывание эмбрионов раствором Хэнкса («ПанЭко», Россия) с помощью силиконовых двухканальных катетеров «Minitube» (Тайвань). Подсчет и морфологическую оценку полученных объектов выполняли под стереомикроскопом SMZ 745 («Nikon», Япония) в среде для промывания и хранения эмбрионов («IMV Technologies», Франция). Для оценки качества и стадии развития эмбрионов использовали известные морфологические критерии (ГОСТ 28424-2014³), включающие наличие сферической формы, число и морфологию бластомеров, состояние зоны пеллюцида. Анализируемым показателем результативности получения IVD эмбрионов служил их общий выход на стадии поздней морулы (32–64 бластомера) или бластоцисты (> 64 бластомеров, наличие полости). Учитывались только эмбрионы, пригодные для трансплантации, т.е. отличного и хорошего или удовлетворительного качества (содержащие не менее 85% или 50% интактных клеток, соответственно).

Кровь на анализ отбирали из хвостовой вены в первый день ИО и через 7 дней (в день вымывания эмбрионов). Содержание общего холестерина и триглицеридов в сыворотке крови измеряли на автоматическом биохимическом анализаторе ERBA XL («ERBA Group», Чехия) ферментативным колориметрическим методом с помощью коммерческих наборов реагентов («ERBA Mannheim», Чехия). Концентрацию прогестерона и эстрадиола-17 β в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) при использовании наборов реагентов компании «Хема» (Россия) и планшетного спектрофотометра Униплан («Пикон», Россия). Чувствительность метода составляла 0,025 нмоль/л для эстрадиола-17 β (E2) и 0,25 нмоль/л для прогестерона (P4). Все анализы выполняли в двух аналитических

¹ Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисина, В.В. Щеглова и др. М.: Рос-сельхозакадемия, 2003, 456 с.

² The veterinarian-client-patient relationship (VCPR). <https://www.avma.org/resources-tools/pet-owners/yourvet/veterinarian-client-patient-relationship-vcpr>; Европейская конвенция по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123, Страсбург, 1986); Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ.

³ ГОСТ 28424-2014 Межгосударственный стандарт. Средства воспроизводства. Эмбрионы крупного рогатого скота. Технические условия.

повторностях, при этом коэффициент вариации не превышал 18 %.

Данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с повторными измерениями при использовании пакета статистического программного обеспечения SigmaStat 4.0 (Systat Software, Inc.). В этих расчетах время относительно 1-го дня ИО было использовано в качестве фактора повторных измерений, а группы полиовуляторных циклов с разным выходом морул и бластоцист — в качестве межгруппового фактора. Результаты выражали как средние значения $\pm$ стандартные ошибки. Для статистической оценки различий между средними значениями применяли критерий Тьюки. В качестве минимального уровня значимости принимали $p < 0,05$; различия при $p < 0,1$ рассматривали как тенденцию. Анализ ассоциаций между различными показателями оценивали с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). Для оценки влияния различных факторов (возраст животного, число циклов стимуляции, тип цикла стимуляции, день после осеменения, взаимодействие факторов) на исследуемые показатели использовали модели со смешанными эффектами в R-Studio. Также был проведен ROC-анализ для оценки прогностической значимости липидных и гормональных уровней.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Согласно морфологической оценке IVD эмбрионов все циклы полиовуляторной стимуляции были разделены на 3 типа: I — с высоким выходом (> 5) морул и бластоцист (М+БЛ); II — со средним выходом (2–5) М+БЛ и III — с низким выходом (0–1) М+БЛ. Использование смешанных моделей для анализа данных подтвердило, что ни липидные, ни гормональные показатели состояния животного не зависели от числа циклов его гормональной стимуляции (от 1 до 3).

У коров из 44 циклов 11 были отнесены к I типу, 15 — ко II типу и 18 — к III типу. Молочная продуктивность за 305 дней лактации и содержание жира в молоке были сходными у животных с разной реакцией на полиовуляторную обработку и составляли, соответственно, 12267 ± 412 кг и $4,16 \pm 0,07\%$ для циклов I типа, 12030 ± 338 кг и $4,13 \pm 0,04\%$ для циклов II типа и 12276 ± 513 кг и $4,19 \pm 0,05\%$ для циклов III типа.

В день ИО не выявлено достоверных различий в уровне общего холестерина у коров с разным выходом морул и бластоцист, однако отмечена тенденция к его повышению (в 1,1 раза, $p < 0,1$) в циклах полиовуляторной стимуляции II типа по сравнению с циклами I типа (табл. 1). Через неделю после осеменения в случае высокого и среднего выхода морул и бластоцист наблюдался тренд к снижению концентрации холестерина в крови в 1,1 раза ($p < 0,1$) по сравнению с днем ИО, тогда как в случае низкого выхода таких эмбрионов эта концентрация не изменялась. При этом через 7

дней после ИО содержание общего холестерина в крови коров в циклах I типа было в 1,2 раза ниже ($p < 0,01$), чем в циклах III типа. В то же время выход морул и бластоцист не был связан с сывороточной концентрацией триглицеридов или с ее изменением ко дню вымывания эмбрионов.

Концентрация прогестерона в крови возрастала через неделю после ИО у всех коров ($p < 0,01$ – $0,001$), но это возрастание было наибольшим (в 40 раз) в циклах с высоким выходом морул и бластоцист и наименьшим (в 5,5 раз) — в циклах с низким выходом (табл. 1). Как следствие, на 7-й день данный гормональный показатель в циклах I типа превышал таковой в циклах II типа (в 1,8 раза, $p < 0,05$) и в циклах III типа (в 5,4 раза, $p < 0,001$), причем в последних уровень прогестерона был в 3 раза меньше ($p < 0,05$), чем в циклах II типа. Снижению концентрации прогестерона в крови у коров в циклах III типа сопутствовало сокращение числа желтых тел в 2,3–3,3 раза по сравнению с циклами I и II типа ($p < 0,01$ – $0,001$). Кроме того, в день ИО содержание эстрадиола-17 β в крови коров в циклах с высоким выходом эмбрионов было в 1,2 раза ниже ($p < 0,05$), чем в циклах со средним выходом, в которых выявлено его последующее снижение в 1,2 раза ($p < 0,01$) через 7 дней после ИО.

У телок в ходе анализа 43 циклов стимуляции полиовуляции было выявлено 7 циклов I типа, 18 циклов II типа и 18 циклов III типа.

Таблица 1. Концентрации липидов и половых стероидных гормонов в крови и формирование желтых тел у коров при разном выходе IVD эмбрионов на стадии морулы и бластоцисты (М+БЛ)

Table 1. Concentrations of lipids and sex steroid hormones in the blood and the formation of corpora lutea in cows at different yields of IVD embryos at the morula and blastocyst stages (M+BL)

Показатель	> 5 М + БЛ (I) n = 11	2–5 М + БЛ (II) n = 15	0–1 М + БЛ (III) n = 18
Общий холестерин, ммоль/л:			
день осеменения	6,49 $\pm$ 0,34 ^a	7,30 $\pm$ 0,24 ^b	6,96 $\pm$ 0,33
7 дней после осеменения	5,97 $\pm$ 0,19 ^{ac}	6,47 $\pm$ 0,39 ^a	7,16 $\pm$ 0,24 ^d
Триглицериды, ммоль/л:			
день осеменения	0,161 $\pm$ 0,013	0,166 $\pm$ 0,010	0,166 $\pm$ 0,009
7 дней после осеменения	0,155 $\pm$ 0,011	0,174 $\pm$ 0,013	0,157 $\pm$ 0,012
P4, нмоль/л:			
день осеменения	1,08 $\pm$ 0,13	1,04 $\pm$ 0,05	1,46 $\pm$ 0,23
7 дней после осеменения	43,44 $\pm$ 11,31 ^{***e}	24,82 $\pm$ 4,70 ^{***f}	8,01 $\pm$ 1,77 ^{**g}
E2, нмоль/л:			
день осеменения	0,358 $\pm$ 0,026 ^h	0,439 $\pm$ 0,025 ⁱ	0,514 $\pm$ 0,091
7 дней после осеменения	0,357 $\pm$ 0,022	0,370 $\pm$ 0,023 ^{**}	0,413 $\pm$ 0,039
Число желтых тел	8,73 $\pm$ 1,36 ^j	6,07 $\pm$ 0,71 ^k	2,61 $\pm$ 0,42 ^l

Примечание: различия между показателями в пределах одной группы — * $p < 0,1$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; различия между показателями в разных группах — ^{a,b} $p < 0,1$; ^{c,d} $p < 0,01$; ^{e,f} $p < 0,05$; ^{g,h} $p < 0,001$; ^{i,j} $p < 0,05$; ^{k,l} $p < 0,1$; ^{m,n} $p < 0,001$; ^{o,p} $p < 0,01$

Концентрация общего холестерина в крови телок снижалась в 1,05–1,16 раза ($p < 0,001-0,05$) в день вымывания эмбрионов, по сравнению с таковой в день ИО, независимо от выхода морул и бластоцист (табл. 2). Ни в день осеменения, ни через 1 неделю не было обнаружено существенных различий этого показателя между сравниваемыми группами циклов. При этом содержание холестерина в крови телок в течение недели после ИО было в 2,3–2,4 раза меньше ($p < 0,001$), чем в крови коров, что, очевидно, связано с особенностями липидного обмена после отела [22]. Напротив, концентрация триглицеридов в крови телок была в 1,2–1,3 раза выше ($p < 0,001-0,01$) по сравнению с коровами, поскольку у последних часть триглицеридов используется для синтеза молочного жира [23]. Тем не менее у телок, как и у коров, содержание триглицеридов в крови было одинаковым в циклах с разным выходом морул и бластоцист, и не изменялось в течение недели после ИО.

Повышение концентрации прогестерона через 1 неделю после ИО телок в циклах I и II типа было сходным с таковым у коров (табл. 2), тогда как в циклах III типа оно было более значительным (в 16 раз, а у коров — в 5,5 раза). При этом на 7-й день после осеменения уровень прогестерона в циклах с высоким выходом IVD эмбрионов был в 2,0–2,3 раза выше ($p < 0,01$), чем в циклах со средним и низким выходом, но не различался между

последними. Соответственно, число образованных желтых тел в циклах III типа было в 1,6 раза меньше ($p < 0,05$), чем в циклах I типа, и не отличалось от такового в циклах II типа. В то же время содержание эстрадиола-17 β в крови телок не зависело от выхода морул и бластоцист и не изменялось существенно в течение недели после ИО.

Использование смешанных моделей для анализа данных выявило, что взаимодействие между типом цикла стимуляции и днем после осеменения является значимым для уровня холестерина в крови ($p < 0,05$). Кроме того, динамика изменения содержания прогестерона в течение недели после осеменения была связана с его результативностью ($p < 0,001$).

Полученные данные показывают, что снижение концентрации общего холестерина в крови коров на 7-й день после осеменения в циклах I и II типа, было вызвано, по крайней мере частично, его использованием в качестве субстрата для резко возросшей продукции прогестерона [14]. Это предположение подтверждается наличием отрицательной корреляции, наблюдаемой между уровнями холестерина и прогестерона в циклах со средним выходом морул и бластоцист ($r = -0,380$, $p < 0,05$). В случае высокого выхода IVD эмбрионов сходная корреляция была менее существенной ($r = -0,246$, $p > 0,05$), что, вероятно, было обусловлено меньшим числом анализируемых циклов. В свою очередь, в циклах III типа, где содержание холестерина в крови не изменялось, увеличение секреции прогестерона было в 3–5 раз менее значительным.

ROC-анализ определил хорошую прогностическую ценность холестерина у коров на 7-й день после ИО (AUC: 0,781, оптимальный порог: 6,64 ммоль/л, чувствительность: 0,91, специфичность: 0,67). Кроме того, была установлена умеренная прогностическая значимость холестерина в день осеменения (AUC: 0,679, оптимальный порог: 6,99 ммоль/л, чувствительность: 0,73, специфичность: 0,66). Следовательно, хотя концентрация холестерина в крови голштинских коров не выходила за верхнюю границу референтного интервала (2,35–8,30 ммоль/л)⁴, ее значение, превышающее 6,64 ммоль/л через неделю после ИО и 6,99 ммоль/л в день осеменения, было ассоциировано с более низким выходом морул и бластоцист (< 5 М+БЛ). При этом у телок данный показатель не был связан с результативностью получения IVD эмбрионов, что объясняется его более низкими значениями, чем у коров (в 2,3–2,4 раза).

Несмотря на в целом положительную роль холестерина в поддержании воспроизводительной функции у млекопитающих, включая КРС [14, 15], некоторые аспекты его влияния на созревание ооцитов и предимплантационное развитие эмбрионов *in vivo* не совсем ясны. Данные исследования показали, что при определенных условиях

Таблица 2. Концентрации липидов и половых стероидных гормонов в крови и формирование желтых тел у телок при разном выходе IVD эмбрионов на стадии морулы и бластоцисты (М+БЛ)

Table 2. Concentrations of lipids and sex steroid hormones in the blood and the formation of corpora lutea in heifers at different yields of IVD embryos at the morula and blastocyst stages (M+BL)

Показатель	> 5 М+БЛ (I) n = 7	2–5 М+БЛ (II) n = 18	0–1 М+БЛ (III) n = 18
Общий холестерин, ммоль/л:			
день осеменения	3,04 ± 0,21	2,90 ± 0,10	2,99 ± 0,12
7 дней после осеменения	2,62 ± 0,24***	2,75 ± 0,08*	2,85 ± 0,12*
Триглицериды, ммоль/л:			
день осеменения	0,181 ± 0,021	0,217 ± 0,017	0,205 ± 0,015
7 дней после осеменения	0,210 ± 0,025	0,204 ± 0,013	0,192 ± 0,014
P4, нмоль/л:			
день осеменения	0,97 ± 0,36	1,09 ± 0,29	1,57 ± 0,41
7 дней после осеменения	57,89 ± 15,29***a	29,55 ± 5,15***b	25,21 ± 7,24**b
E2, нмоль/л:			
день осеменения	0,783 ± 0,297	0,521 ± 0,096	0,702 ± 0,163
7 дней после осеменения	0,653 ± 0,273	0,466 ± 0,067	0,549 ± 0,117
Число желтых тел	8,00 ± 1,33 ^c	5,94 ± 0,50	4,88 ± 0,51 ^d

Примечание: различия между показателями в пределах одной группы — * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; различия между показателями в разных группах — ^{a,b} $p < 0,01$; ^{c,d} $p < 0,05$

⁴ Гусев И.В. Контроль биохимического статуса свиней и коров: руководство / И.В. Гусев, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, Г.Н. Левина // Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2017. — 40 с.

высокое содержание холестерина в крови может неблагоприятно влиять на оплодотворение яйцеклетки и/или ранний эмбриогенез. С этим выводом согласуется ряд данных других авторов. Так, с помощью метода прижизненного получения яйцеклеток коров недавно была выявлена отрицательная корреляция между концентрацией холестерина в крови животных и степенью созревания ооцитов, хотя более высокие значения этой концентрации были положительно ассоциированы с экспансией кумулюсных клеток [24]. Кроме того, была обнаружена отрицательная связь между содержанием общего холестерина в крови женщин во время процедуры аспирации ооцитов и дальнейшим качеством эмбрионов, полученных путем экстракорпорального оплодотворения [25].

Необходимо отметить, что пониженные уровни прогестерона в крови на 7-й день после ИО коров в циклах III типа (по сравнению с циклами I и II типа) могли бы быть еще одной причиной низкого выхода IVD эмбрионов. Эти уровни свидетельствуют о меньшем числе образовавшихся желтых тел и их более низкой функциональной активности. ROC-анализ для прогестерона у коров на 7-й день после ИО показал следующие результаты: AUC — 0,787, порог — 16,54 ммоль/л,

чувствительность — 0,85 и специфичность — 0,63. Тем не менее у телок в циклах II и III типа содержание прогестерона в крови было практически одинаковым, несмотря на разный выход морул и бластоцист. Следовательно, более низкая продукция прогестерона у коров в циклах III типа не могла служить единственным и решающим фактором низкой результативности получения IVD эмбрионов, но вносила вклад в поддержание высокой концентрации холестерина в крови.

Выводы/Conclusion

Таким образом, паттерн изменения уровня общего холестерина в первые семь дней предполагаемой гестации зависит от продукции прогестерона после полиовуляторной стимуляции и осеменения коров и телок. Содержание холестерина в крови, превышающее 7 ммоль/л в день ИО и 6,7 ммоль/л через 1 неделю, вероятно, является избыточным и негативно отражается на развитии IVD эмбрионов до стадии морулы и бластоцисты. Полученные результаты указывают на целесообразность дальнейших исследований, направленных на выяснение перспективности использования этого показателя для прогностической оценки результативности рутинного метода искусственного осеменения.

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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема FGGN-2024-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Gui L.-S. *et al.* Recent advances in early pregnancy loss diagnosis in dairy cows: New approaches. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(4): e14566. <https://doi.org/10.1111/rda.14566>
- Pursley J.R., Santos A., Minela T. Review: Initial increase in pregnancy-specific protein B in maternal circulation after artificial insemination is a key indicator of embryonic survival in dairy cows. *Animal*. 2023; 17(S1): 100746. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100746>
- Wiltbank M.C. *et al.* Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2016; 86(1): 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
- Лебедева И.Ю., Алеиникова О.В., Ермилова А.П., Митяшова О.С. Уровни тиреоидных гормонов и прогестерона в крови голштинских коров и телок в связи с результативностью получения эмбрионов *in vivo*. *Достижения науки и техники АПК*. 2025; 39(12): 50–56. https://doi.org/10.53859/02352451_2025_39_12_50
- Ünay E. *et al.* Association between metabolic parameters and embryo production in superovulated dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(6): e14629. <https://doi.org/10.1111/rda.14629>
- Denicol A.C., Siqueira L.G.B. Maternal contributions to pregnancy success: from gamete quality to uterine environment. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230085. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0085>
- Song Y., Wang Z., Zhao C., Bai Y., Xia C., Xu C. Effect of negative energy balance on plasma metabolites, minerals, hormones, cytokines and ovarian follicular growth rate in Holstein dairy cows. *Journal of Veterinary Research*. 2021; 65(3): 361–368. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0035>
- Bezdiček J., Nesvadbová A., Ducháček J., Sekaninová J., Stádník L., Janků M. Changes in the oxidative - biochemical status in dairy cows during the transition period affecting reproductive and health parameters. *Czech Journal of Animal Science*. 2024; 69(9): 345–355. <https://doi.org/10.17221/128/2024-CJAS>
- Pascottini O.B., Leroy J.L.M.R., Opsomer G. Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022; 57(S4): 21–32. <https://doi.org/10.1111/rda.14176>
- Sudano M.J. *et al.* Lipidome signatures in early bovine embryo development. *Theriogenology*. 2016; 86(2): 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.025>
- Ye Q., Zeng X., Cai S., Qiao S., Zeng X. Mechanisms of lipid metabolism in uterine receptivity and embryo development. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2021; 32(12): 1015–1030. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2021.09.002>
- de Lima C.B., Barbosa G.Z., Ispada J., dos Santos E.C., Milazzotto M.P. Lipid availability during in vitro maturation alters oocyte lipid content and blastocyst development and metabolism. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023; 58(7): 920–928. <https://doi.org/10.1111/rda.14367>

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.

FUNDING

The study was performed within the framework of a state assignment (topic FGGN-2024-0014).

REFERENCES

- Gui L.-S. *et al.* Recent advances in early pregnancy loss diagnosis in dairy cows: New approaches. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(4): e14566. <https://doi.org/10.1111/rda.14566>
- Pursley J.R., Santos A., Minela T. Review: Initial increase in pregnancy-specific protein B in maternal circulation after artificial insemination is a key indicator of embryonic survival in dairy cows. *Animal*. 2023; 17(S1): 100746. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100746>
- Wiltbank M.C. *et al.* Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2016; 86(1): 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
- Lebedeva I.Yu., Aleinikova O.V., Ermilova A.P., Mityashova O.S. Thyroid hormone and progesterone levels in Holstein cows and heifers in relation to *in vivo* embryo production performance. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2025; 39(12): 50–56 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2025_39_12_50
- Ünay E. *et al.* Association between metabolic parameters and embryo production in superovulated dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(6): e14629. <https://doi.org/10.1111/rda.14629>
- Denicol A.C., Siqueira L.G.B. Maternal contributions to pregnancy success: from gamete quality to uterine environment. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230085. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0085>
- Song Y., Wang Z., Zhao C., Bai Y., Xia C., Xu C. Effect of negative energy balance on plasma metabolites, minerals, hormones, cytokines and ovarian follicular growth rate in Holstein dairy cows. *Journal of Veterinary Research*. 2021; 65(3): 361–368. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0035>
- Bezdiček J., Nesvadbová A., Ducháček J., Sekaninová J., Stádník L., Janků M. Changes in the oxidative - biochemical status in dairy cows during the transition period affecting reproductive and health parameters. *Czech Journal of Animal Science*. 2024; 69(9): 345–355. <https://doi.org/10.17221/128/2024-CJAS>
- Pascottini O.B., Leroy J.L.M.R., Opsomer G. Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022; 57(S4): 21–32. <https://doi.org/10.1111/rda.14176>
- Sudano M.J. *et al.* Lipidome signatures in early bovine embryo development. *Theriogenology*. 2016; 86(2): 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.025>
- Ye Q., Zeng X., Cai S., Qiao S., Zeng X. Mechanisms of lipid metabolism in uterine receptivity and embryo development. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2021; 32(12): 1015–1030. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2021.09.002>
- de Lima C.B., Barbosa G.Z., Ispada J., dos Santos E.C., Milazzotto M.P. Lipid availability during in vitro maturation alters oocyte lipid content and blastocyst development and metabolism. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023; 58(7): 920–928. <https://doi.org/10.1111/rda.14367>

13. Hamdi M. *et al.* Gene expression and metabolic response of bovine oviduct epithelial cells to the early embryo. *Reproduction*. 2019; 158(1): 85–94. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0561>
14. de Andrade Melo-Sterza F., Poehland R. Lipid Metabolism in Bovine Oocytes and Early Embryos under *In Vivo*, *In Vitro*, and Stress Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(7): 3421. <https://doi.org/10.3390/ijms22073421>
15. Banliat C. *et al.* Stage-dependent changes in oviductal phospholipid profiles throughout the estrous cycle in cattle. *Theriogenology*. 2019; 135: 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.011>
16. Radhakrishnan A., Rohatgi R., Siebold C. Cholesterol access in cellular membranes controls Hedgehog signaling. *Nature Chemical Biology*. 2020; 16(12): 1303–1313. <https://doi.org/10.1038/s41589-020-00678-2>
17. Moss J.L., Garrett T.J., Hansen P.J. Involvement of free cholesterol and high-density lipoprotein in development and resistance of the preimplantation bovine embryo to heat shock. *Journal of Animal Science*. 2012; 90(11): 3762–3769. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4717>
18. Binelli M. *et al.* Effectors and predictors of conceptus survival in cattle: What is next? *Domestic Animal Endocrinology*. 2025; 92: 106939. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2025.106939>
19. Митяшова О.С., Лебедева И.Ю. Стероидогенная активность яичников коров в зависимости от результативности искусственного осеменения и полиморфизма гена *DIO1*. *Аграрная наука*. 2025; (11): 48–53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-48-53>
20. Lonergan P., Sánchez J.M. *Symposium review*: Progesterone effects on early embryo development in cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(9): 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
21. Perry G.A., Ketchum J.N., Quail L.K. Importance of preovulatory estradiol on uterine receptivity and luteal function. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230061. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0061>
22. Roche J.R. *et al.* Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*. 2017; 30(1): 85–100. <https://doi.org/10.1071/RD17412>
23. Bernard L., Leroux C., Chilliard Y. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland. Bösze Z. (ed.). *Bioactive Components of Milk*. New York, NY: Springer. 2008; 67–108 https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_2
24. Toralová T. *et al.* The serum levels of triacylglycerols, nonesterified fatty acids, and beta-hydroxybutyrate as markers of reproductive capability of primiparous dairy cows. *Journal of Animal Science*. 2025; 103: skaf276. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf276>
25. Wang S., Wang J., Jiang Y., Jiang W. Association between blood lipid level and embryo quality during *in vitro* fertilization. *Medicine*. 2020; 99(13): e19665. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019665>
13. Hamdi M. *et al.* Gene expression and metabolic response of bovine oviduct epithelial cells to the early embryo. *Reproduction*. 2019; 158(1): 85–94. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0561>
14. de Andrade Melo-Sterza F., Poehland R. Lipid Metabolism in Bovine Oocytes and Early Embryos under *In Vivo*, *In Vitro*, and Stress Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(7): 3421. <https://doi.org/10.3390/ijms22073421>
15. Banliat C. *et al.* Stage-dependent changes in oviductal phospholipid profiles throughout the estrous cycle in cattle. *Theriogenology*. 2019; 135: 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.011>
16. Radhakrishnan A., Rohatgi R., Siebold C. Cholesterol access in cellular membranes controls Hedgehog signaling. *Nature Chemical Biology*. 2020; 16(12): 1303–1313. <https://doi.org/10.1038/s41589-020-00678-2>
17. Moss J.L., Garrett T.J., Hansen P.J. Involvement of free cholesterol and high-density lipoprotein in development and resistance of the preimplantation bovine embryo to heat shock. *Journal of Animal Science*. 2012; 90(11): 3762–3769. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4717>
18. Binelli M. *et al.* Effectors and predictors of conceptus survival in cattle: What is next? *Domestic Animal Endocrinology*. 2025; 92: 106939. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2025.106939>
19. Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu. Steroidogenic activity of bovine ovaries depending on the effectiveness of artificial insemination and *DIO1* gene polymorphism. *Agrarian science*. 2025; (11): 48–53 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-48-53>
20. Lonergan P., Sánchez J.M. *Symposium review*: Progesterone effects on early embryo development in cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(9): 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
21. Perry G.A., Ketchum J.N., Quail L.K. Importance of preovulatory estradiol on uterine receptivity and luteal function. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230061. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0061>
22. Roche J.R. *et al.* Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*. 2017; 30(1): 85–100. <https://doi.org/10.1071/RD17412>
23. Bernard L., Leroux C., Chilliard Y. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland. Bösze Z. (ed.). *Bioactive Components of Milk*. New York, NY: Springer. 2008; 67–108 https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_2
24. Toralová T. *et al.* The serum levels of triacylglycerols, nonesterified fatty acids, and beta-hydroxybutyrate as markers of reproductive capability of primiparous dairy cows. *Journal of Animal Science*. 2025; 103: skaf276. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf276>
25. Wang S., Wang J., Jiang Y., Jiang W. Association between blood lipid level and embryo quality during *in vitro* fertilization. *Medicine*. 2020; 99(13): e19665. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019665>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Викторовна Алейникова

кандидат биологических наук, научный сотрудник
68ovk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2583-0492>

Анна Петровна Ермилова

аспирант
anya0884@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6476-3757>

Ольга Сергеевна Митяшова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
mityashova_o@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Ирина Юрьевна Лебедева

доктор биологических наук, главный научный сотрудник
irledv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, д. 60, Подольск, Московская обл., 142132,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Victorovna Aleynikova

Candidate of Biological Sciences, Researcher
68ovk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2583-0492>

Anna Petrovna Yermilova

postgraduate student
anya0884@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6476-3757>

Olga Sergeevna Mityashova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
mityashova_o@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Irina Yuryevna Lebedeva

Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
irledv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region,
142132, Russia