

О. С. Митяшова, А. А. Соломахин, И. Ю. Лебедева

Липидный обмен у коров-первотелок при разном состоянии репродуктивной системы

Аннотация. Модифицированный липидный метаболизм оказывает негативное влияние на плодовитость коров. Целью исследований было изучение липидного обмена в предотельный и послеотельный периоды у коров-первотелок с разными признаками нарушения репродуктивной функции. За 8, 6, 4 и 2 недели до отела и через 2 и 7 недель после отела у животных брали кровь для анализа содержания фосфолипидов и триглицеридов. На основании оценки функционального состояния яичников через 7 и 9 недель после отела коров разделили на три группы: I — без признаков гипофункции яичников ($n=31$), II — с умеренной овариальной гипофункцией ($n=13$), III — с глубокой овариальной гипофункцией ($n=14$). Через 12 месяцев лактации животных без диагноза глубокой овариальной гипофункции поделили на 3 группы: 1 — с сервис-периодом менее 125 дней ($n=12$), 2 — с сервис-периодом более 125 дней ($n=21$) и 3 — коровы, оставшиеся бесплодными ($n=11$). Концентрация фосфолипидов повышалась в 1,6–1,9 раза ($p<0,001-0,05$) между 2-й и 7-й неделями после отела в крови коров всех исследованных групп. При этом во II и 3 группах она снижалась в 1,4–1,5 раза ($p<0,05$) между 4-й неделей до отела и 2-й неделей лактации. Через 7 недель после отела содержание фосфолипидов в крови животных I группы было в 1,2–1,4 раза выше ($p<0,001-0,05$), чем у животных II и III групп. Кроме того, этот показатель через 2 и 7 недель лактации был в 1,4–1,5 раза выше ($p<0,05$) в 1 группе, чем в 3 группе. Концентрация триглицеридов снижалась в 1,3 раза ($p<0,05$) между 2-й неделей до отела и 2-й неделей после отела в крови коров I группы и в 1,5–1,6 раза ($p<0,05$) между 6-й неделей до отела и 7-й неделей после отела во II и III группах. В 1 группе она повышалась в 1,6 раза ($p<0,05$) между 8-й и 2-й неделями до отела, а затем снижалась в 1,5 раза ($p<0,05$) ко 2-й неделе лактации. Этот показатель уменьшался в 1,4 раза ($p<0,01$) между 2-й неделей до отела и 7-й неделей лактации во 2 группе и не изменялся в течение всего периода наблюдений в 3 группе. Через 7 недель лактации содержание триглицеридов в крови было в 1,4 раза выше ($p<0,05$) в I группе, чем во II и III группах и в 1,3 раза выше ($p<0,05$) в 1 группе, чем во 2 группе. Полученные данные свидетельствуют о том, что особенности липидного метаболизма в предотельный и послеотельный периоды связаны с разным состоянием репродуктивной системы у коров-первотелок.

Ключевые слова: коровы-первотелки, липидный обмен, предотельный период, послеотельный период, гипофункция яичников, сервис-период, бесплодие.

Авторы:

Митяшова Ольга Сергеевна — кандидат биологических наук; e-mail: mityashova_o@mail.ru;

Соломахин Алексей Александрович — кандидат биологических наук; e-mail: alsolomahin@yandex.ru;

Лебедева Ирина Юрьевна — доктор биологических наук; e-mail: irledv@mail.ru.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60.

Введение. Репродуктивная способность коров молочного типа зависит от адекватного функционирования метаболической системы, особенно в условиях негативного энергетического баланса при переходе от поздней стельности к началу лактации [1]. В ранний лактационный период для синтеза молока требуется значительно больше энергии и питательных веществ, чем животное может усвоить с кормом. Как следствие, в организме возникает дефицит энергии, который частично покрывается за счет внутренних запасов, прежде всего

жировых [2]. При этом большая часть имеющихся ресурсов расходуется для производства молока в ущерб другим физиологическим функциям, включая репродуктивную. Согласно современным представлениям, отрицательный энергетический баланс и модифицированный обмен веществ лежат в основе послеродовых нарушений воспроизводительной функции коров, таких как задержка возобновления полового цикла, дисфункция яичников, высокая эмбриональная смертность и др. [3, 4].

Модифицированный липидный метаболизм оказывает негативное влияние на плодовитость коров. Липиды служат источником энергии для клеток и являются важными компонентами эндокринной и внутриклеточной сигнальной систем, однако мобилизация жировых депо в ранний период лактации приводит к повышению содержания в крови свободных жирных кислот и кетонных тел [2]. Такое повышение может вызывать соответствующие изменения их содержания в жидкости фолликулов и репродуктивного тракта [5]. В высокой концентрации эти метаболиты липидного обмена снижают общий иммунитет и ухудшают воспроизводительную функцию, в том числе негативно влияя на качество ооцитов и эмбрионов [6, 7]. Кроме того, избыточная аккумуляция триглицеридов из окружающей среды половыми и зародышевыми клетками может приводить к ухудшению функции митохондрий и снижать их резистентность к окислительному стрессу [8]. В то же время высокая концентрация холестерина в крови коров в первый месяц лактации сопутствует более раннему восстановлению полового цикла [9].

Фертильность коров также зависит от обменных процессов в период поздней стельности, который характеризуется возросшими потребностями плода в энергии и питательных веществах, а также подготовкой организма к лактогенезу. Показано, что возобновление полового цикла у полновозрастных коров молочных пород связано с энергетическим статусом и уровнями некоторых метаболитических гормонов в сухостойный период [10, 11]. Длительность послеродового анэструса у этих животных также была ассоциирована с предродовым содержанием в крови некоторых метаболитов и активностью ферментов печени [10, 12]. В основе такого длительного влияния метаболического статуса животных на их воспроизводительную способность, очевидно, лежит продолжительный срок развития фолликулов и ооцитов от примордиальной до преовуляторной стадии, который составляет у коров 4-6 месяцев [13].

Цель исследований — изучение липидного обмена в предотельный и послеотельный периоды у коров-первотелок с разными признаками нарушения репродуктивной функции.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на базе ФГУП ЭХ «Клёново-Чегодаево». В экспериментах использовали 58 нетелей (в предотельный период) и коров-первотелок черно-пестрой голштинизированной породы со среднесуточным удоем $20,2 \pm 0,3$ кг молока. Для исследования отбирали животных, не имевших послеотельных гинекологических заболеваний, связанных со структурными или функциональными

повреждениями половой системы. Коровы находились в условиях привязного содержания, рацион кормления соответствовал зоотехническим нормам [14].

Перед отелом (за 8, 6, 4 и 2 недели) и через 2 и 7 недель после отела у животных брали кровь для анализа биохимических показателей. Забор крови проводили из хвостовой вены перед утренним кормлением. В пробах сыворотки крови измеряли содержание триглицеридов и фосфолипидов на автоматическом биохимическом анализаторе ChemWell (Awareness Technology, США) с использованием реагентов фирмы «Spinreact» (Испания). Концентрацию прогестерона определяли методом иммуноферментного анализа с использованием планшетного спектрофотометра Униплан (Пикон, Россия) и наборов реагентов ООО «Хема» (Россия). Чувствительность метода составляла 0,25 нмоль/л, коэффициент вариации не превышал 14%.

Оценку функционального состояния яичников проводили через 7 и 9 недель после отела методом ректального исследования и с помощью УЗИ сканера WED 300W. Коров-первотелок разделили на три группы: I группа — животные без признаков гипопункции яичников ($n=31$), II группа — животные с умеренной овариальной гипопункцией (яичники содержали фолликулы диаметром не более 8 мм в отсутствие желтых тел; $n=13$), III группа — животные с глубокой овариальной гипопункцией (яичники не содержали фолликулов диаметром более 3–4 мм при отсутствии желтых тел; $n=14$). Дополнительным критерием служили уровни прогестерона в крови через 7 недель после отела, которые при восстановлении лютеальной активности должны составлять не менее 1 нг/мл.

Через 12 месяцев после отела проводили оценку показателей воспроизводства (наличие стельности, сервис-период) у коров, входивших в I и II группу согласно функциональному состоянию яичников. На основании данных зоотехнического и племенного учета этих животных разделили на 3 группы: 1 — с сервис-периодом менее 125 дней ($n=12$), 2 — с сервис-периодом более 125 дней ($n=21$) и 3 — коровы, оставшиеся бесплодными через 12 месяцев после отела ($n=11$).

Полученные результаты выражали как средние значения $\pm$ стандартные ошибки. Данные о липидном статусе коров-первотелок обрабатывали методом однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа при помощи программы SigmaStat (Systat Software, Inc.). Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с использованием критерия Тьюки.

Результаты и обсуждение. Концентрация фосфолипидов в крови коров I и II группы существенно не изменялась с 8-й недели до отела вплоть до 2-й недели лактации, повышаясь в 1,6–1,8 раза ($p < 0,001-0,01$) к 7-й неделе (рис. 1, А). Во II группе она была постоянной в предотельный период, уменьшалась в 1,4 раза ($p < 0,05$) между 4-й неделей до отела и 2-й неделей лактации и затем возрастала в 1,6 раза ($p < 0,05$) к 7-й неделе. При этом через 7 недель после отела концентрация фосфолипидов у животных без гипофункции ($3,16 \pm 0,21$ ммоль/л) была в 1,2–1,4 раза выше ($p < 0,001-0,05$), чем у животных с обеими формами гипофункции яичников.

Фосфолипидный профиль также был связан с продолжительностью бесплодия у коров-первотелок (рис. 1, Б). Динамика изменения содержания фосфолипидов в крови в течение исследуемого периода была аналогичной в 1 и 2 группах: этот показатель был относительно постоянным между 8-й неделей до отела и 2-й неделей после отела, а затем повышался в 1,7 раза ($p < 0,01$) к 7-й неделе лактации. В то же время в 3 группе концентрация фосфолипидов снижалась в 1,5 раза

($p < 0,01$) между 4-й неделей до отела и 2-й неделей лактации и возрастала в 1,9 раза ($p < 0,01$) между 2-й и 7-й неделей. Кроме того, эта концентрация в крови животных 1 группы через 2 и 7 недель после отела ($2,01 \pm 0,17$ и $3,34 \pm 0,32$ ммоль/л, соответственно) была в 1,4–1,5 раза выше ($p < 0,05$), чем таковая у животных 3 группы.

Содержание триглицеридов в крови коров I группы не изменялось в предродовой период и снижалась в 1,3 раза ($p < 0,05$) между 2-й неделей до отела и 2-й неделей после отела (рис. 2, А). Во II и III группах сходное снижение (в 1,5–1,6 раза, $p < 0,05$) наблюдали между 6-й неделей до отела и 7-й неделей после отела. При этом через 7 недель лактации концентрация триглицеридов в крови коров I группы ($0,215 \pm 0,015$ ммоль/л) была в 1,4 раза выше ($p < 0,05$), чем во II и III группах.

Временной профиль триглицеридов различался у коров с разной продолжительностью бесплодия (рис. 2, Б). В 1 группе концентрация триглицеридов повышалась в 1,6 раза ($p < 0,05$) за 2 недели до отела по сравнению с таковой за 8 недель, а затем снижалась в 1,5 раза ($p < 0,05$) до исходного уровня ко 2-й неделе лактации. Во 2 группе не наблю-

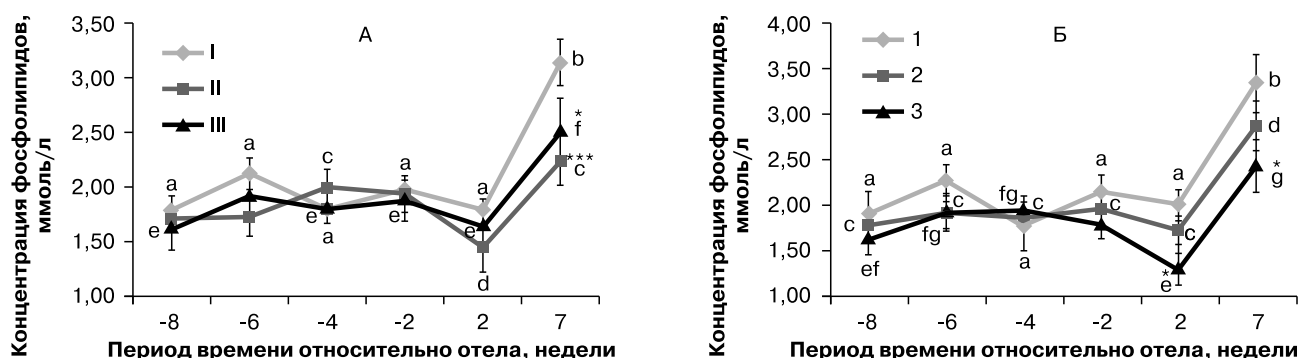


Рис. 1. Концентрация фосфолипидов в различные периоды до и после отела в крови коров-первотелок в зависимости от функционального состояния яичников (А) и разной продолжительности бесплодия (Б).

I — без гипофункции яичников (ГФЯ), II — умеренная ГФЯ, III — глубокая ГФЯ;

1 — сервис-период (СП) < 125 сут, 2 — СП > 125 сут, 3 — бесплодные > 365 дней.

Средние значения, помеченные разными буквами, достоверно различаются внутри одной группы ($p < 0,05$ — $p < 0,001$). Различия по сравнению с 1 (I) группой: * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$

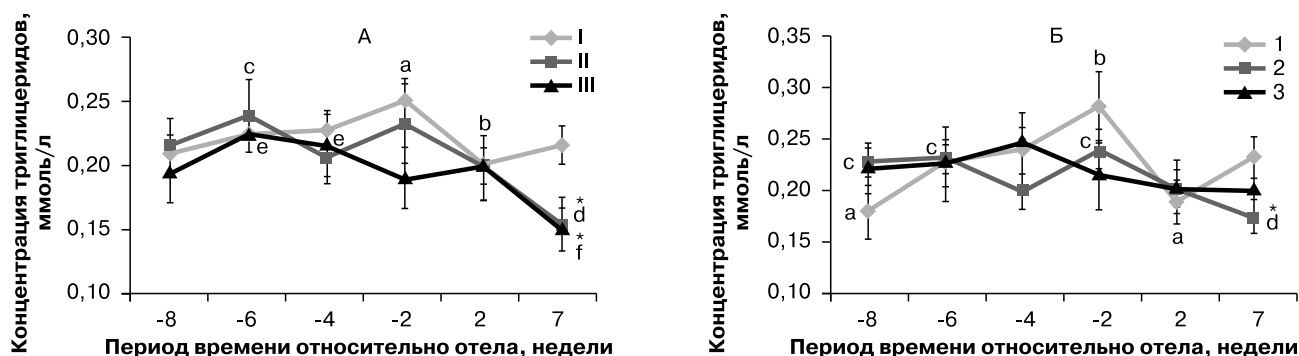


Рис. 2. Концентрация триглицеридов в различные периоды до и после отела в крови коров-первотелок в зависимости от функционального состояния яичников (А) и разной продолжительности бесплодия (Б).

Обозначения те же, что на рис. 1

дали такого повышения перед отелом, но происходило уменьшение этой концентрации в 1,4 раза ($p < 0,01$) между 2-й неделей до отела и 7-й неделей лактации. В 3 группе содержание триглицеридов в крови коров было постоянным в течение всего периода наблюдений. Кроме того, через 7 недель после отела этот показатель в 1 группе ($0,232 \pm 0,020$ ммоль/л) был в 1,3 раза выше ($p < 0,05$), чем во 2 группе.

Ранее было показано, что изменения фосфолипидных метаболитных профилей у коров связаны с разными уровнями липолиза в ранний послеотельный период [15]. В нашем исследовании через 2 недели после отела обнаружено снижение содержания фосфолипидов в крови первотелок с умеренной гипофункцией яичников (II группа) и с длительным бесплодием (3 группа). В этой связи можно предположить, что эти репродуктивные нарушения были обусловлены, по крайней мере частично, избыточной мобилизацией жировых депо у таких животных.

Наиболее распространенными фосфолипидами являются фосфатидилхолины, которые участвуют в сборке и секреции липопротеинов печени, в первую очередь липопротеинов очень низкой плотности [16]. Поэтому фосфатидилхолины влияют на содержание в крови триацилглицеридов, которые транспортируются из печени в составе липопротеинов очень низкой плотности. Следовательно, недостаток фосфатидилхолинов при повышенном липолизе в послеотельный период может приводить к интенсивной аккумуляции триацилглицеридов в печени и ее ожирению. В нашем исследовании у коров-первотелок с обеими формами гипофункции яичников через 7 недель после отела были выявлены более низкие концентрации в крови фосфолипидов и триглицеридов по сравнению

с животными без гипофункции. Это указывает на то, что пониженный синтез фосфатидилхолинов печени, связанный с жировым гепатозом, мог быть одной из причин, вызывающих депрессию функциональной активности яичников. В пользу этого предположения свидетельствуют данные об отсутствии различий в молочной продуктивности коров в сравниваемых группах (2126–2390 кг за 100 дней лактации), поскольку содержание в крови триглицеридов также зависит от их использования молочной железой для синтеза молочного жира [17].

Следует отметить, что у коров-первотелок с длинным сервис-периодом через 7 недель после отела пониженная концентрация триглицеридов не сочеталась с пониженной концентрацией фосфолипидов. Кроме того, у животных с длительным бесплодием снижение содержания фосфолипидов в крови не сопровождалось снижением содержания триглицеридов. Это указывает на более сложную зависимость между исследуемыми показателями липидного обмена при данных репродуктивных нарушениях.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о том, что особенности липидного метаболизма в предотельный и послеотельный периоды связаны с разным состоянием репродуктивной системы у коров-первотелок. У животных с гипофункцией яичников в послеотельный период обнаружена пониженная концентрация в крови фосфолипидов и триглицеридов по сравнению с животными без гипофункции. У коров с длительным бесплодием, в отличие от особей с коротким сервис-периодом, не наблюдалось предотельного повышения или послеотельного снижения содержания триглицеридов, но в переходный период происходило уменьшение содержания в крови фосфолипидов.

Исследование профилей фосфолипидов выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-016-00227), а профилей триглицеридов — в рамках государственного задания (AAAA-A18-118021990006-9)

Литература

1. Roche J. R. Fertility and the transition dairy cow / J. R. Roche, C. R. Burke, M. A. Crookenden, A. Heiser, J. L. Looor, S. Meier, M. D. Mitchell, C. V. C. Phyn, S. A. Turner // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2018. — V. 30. — P. 85–100.
2. Wathes D. C. Associations between lipid metabolism and fertility in the dairy cow / D. C. Wathes, A. M. Clempson, G. E. Pollott // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2012. — V. 25. — P. 48–61.
3. Chagas L. M. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows / L. M. Chagas, J. J. Bass, D. Blache, C. R. Burke, J. K. Kay, D. R. Lindsay, M. C. Lucy, G. B. Martin, S. Meier, F. M. Rhodes, J. R. Roche, W. W. Thatcher, R. Webb // *J. Dairy Sci.* — 2007. — V. 90. — P. 4022–4032.
4. Walsh S. W. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows / S. W. Walsh, E. J. Williams, A. C. Evans // *Anim. Reprod. Sci.* — 2011. — V. 123. — P. 127–138.
5. Leroy J. L. Nutrition and maternal metabolic health in relation to oocyte and embryo quality: critical views on what we learned from the dairy cow model / J. L. Leroy, S. D. Valckx, L. Jordaens, J. De Bie, K. L. Desmet, V. Van Hoeck, J. H. Britt, W. F. Marei, P. E. Bols // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2015. — V. 27. — P. 693–703.

6. Leroy J. L. The consequences of metabolic changes in high-yielding dairy cows on oocyte and embryo quality / J. L. Leroy, A. Van Soom, G. Opsomer, P. E. Bols // *Animal*. — 2008. — V. 2. — P. 1120–1127.
7. González F. D. Relationship among blood indicators of lipomobilization and hepatic function during early lactation in high-yielding dairy cows / F. D. González, R. Muñio, V. Pereira, R. Campos, J. L. Benedito // *J. Vet. Sci.* — 2011. — V. 12. — P. 251–255.
8. Rizos D. Bovine embryo culture in the presence or absence of serum: implications for blastocyst development, cryotolerance, and messenger RNA expression / D. Rizos, A. Gutierrez-Adan, S. Perez-Garnelo, J. De La Fuente, M. P. Boland, P. Lonergan // *Biol. Reprod.* — 2003. — V. 68. — P. 236–243.
9. Митяшова О. С. Обмен веществ и репродуктивная функция в послеродовой период у коров-первотелок при введении им экстракта плаценты / О. С. Митяшова, И. В. Гусев, И. Ю. Лебедева // *Сельскохозяйственная биология*. — 2017. — Т. 52. — № 2. — С. 323–330.
10. Castro N. Metabolic and energy status during the dry period is crucial for the resumption of ovarian activity postpartum in dairy cows / N. Castro, C. Kawashima, H. A. van Dorland, I. Morel, A. Miyamoto, R.M. Bruckmaier // *J. Dairy Sci.* — 2012. — V. 95. — P. 5804–5812.
11. Miqueo E. Association between prepartum metabolic status and resumption of postpartum ovulation in dairy cows / E. Miqueo, A. Chiarle, M. J. Giuliodori, A. E. Relling // *Domest. Anim. Endocrinol.* — 2019. — V. 69. — P. 62–67.
12. Kawashima C. Influence of hepatic load from far-off dry period to early postpartum period on the first postpartum ovulation and accompanying subsequent fertility in dairy cows / C. Kawashima, N. Ito, S. Nagashima, M. Matsui, K. Sawada, F. J. Schweigert, A. Miyamoto, K. Kida // *J. Reprod. Dev.* — 2016. — V. 62. — P. 289–295.
13. Lussier J. G. Growth rates of follicles in the ovary of the cow / J. G. Lussier, P. Matton, J. J. Dufour // *J. Reprod. Fertil.* — 1987. — V. 81. — P. 301–307.
14. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное. / Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. — Москва. 2003. — 456 с.
15. Humer E. Alterations of the lipid metabolome in dairy cows experiencing excessive lipolysis early postpartum / E. Humer, A. Khol-Parisini, B. U. Metzler-Zebeli, L. Gruber, Q. Zebeli // *PLoS One*. — 2016. — V. 11. — P. e0158633.
16. Cole L. Phosphatidylcholine biosynthesis and lipoprotein metabolism / L. Cole, J. Vance, D. Vance // *Biochim. Biophys. Acta*. — 2012. — V. 1821. — P. 754–761.
17. Bernard L. Expression and nutritional regulation of lipogenic genes in the ruminant lactating mammary gland / L. Bernard, C. Leroux, Y. Chilliard // *Adv. Exp. Med. Biol.* — 2008. — V. 606. — P. 67–108.

Mityashova O., Solomakhin A., Lebedeva I.

Lipid metabolism in primiparous cows with a various state of the reproductive system

Abstract. *Modified lipid metabolism has a negative effect on the fertility of cows. The aim of the research was to study lipid metabolism in the pre- and postpartum periods in primiparous cows with different signs of the impaired reproductive function. At 8, 6, 4 and 2 weeks before calving and 2 and 7 weeks after calving, the animals were bled to analyze the content of phospholipids and triglycerides. Based on the assessment of the functional state of the ovaries 7 and 9 weeks after calving, the cows were divided into three groups: I — without signs of ovarian hypofunction (n=31), II — with moderate ovarian hypofunction (n=13), III — with deep ovarian hypofunction (n=14). After 12 months of lactation, animals without a diagnosis of deep ovarian hypofunction were divided into 3 groups: 1 — with an open days period of less than 125 days (n=12), 2 — with an open days period of more than 125 days (n=21), and 3 — cows that remained infertile (n=11). The phospholipid concentration increased 1.6–1.9 times ($p<0.001-0.05$) between the 2nd and 7th weeks after calving in the blood of cows of all studied groups. Meanwhile, in groups II and 3, it decreased 1.4–1.5 times ($p<0.05$) between the 4th week before calving and the 2nd week of lactation. Seven weeks after calving, the phospholipid content in the blood of group I animals was 1.2–1.4 times higher ($p<0.001-0.05$) than in animals of groups II and III. In addition, this indicator after 2 and 7 weeks of lactation was 1.4–1.5 times higher ($p<0.05$) in group 1 than in group 3. The concentration of triglycerides decreased by 1.3 times ($p<0.05$) between the 2nd week before calving and the 2nd week after calving in the blood of group I cows and by 1.5–1.6 times ($p<0.05$) between the 6th week before calving and the 7th week after calving in groups II and III. In group 1, it increased 1.6 times ($p<0.05$) between the 8th and 2nd weeks before calving, and then decreased 1.5 times ($p<0.05$) by the 2nd week of lactation. This indicator de-*

creased 1.4 times ($p < 0.01$) between the 2nd week before calving and the 7th week of lactation in group 2 and did not change throughout the observation period in group 3. After 7 weeks of lactation, the content of triglycerides in the blood was 1.4 times higher ($p < 0.05$) in group I than in groups II and III and was 1.3 times higher ($p < 0.05$) in group 1 than in group 2. The data obtained suggest that the peculiarities of lipid metabolism during the pre- and postpartum periods are associated with various states of the reproductive system in primiparous cows.

Keywords: primiparous cows, lipid metabolism, prepartum period, postpartum period, ovarian hypofunction, open days period, infertility.

Authors:

Mityashova O. — PhD (Biol. Sci.); e-mail: mityashova_o@mail.ru;

Solomakhin A. — PhD (Biol. Sci.); e-mail: alsolomahin@yandex.ru;

Lebedeva I. — Dr. Habil. (Biol. Sci.); e-mail: irledv@mail.ru.

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

References

1. Roche J. R. Fertility and the transition dairy cow / J.R. Roche, C.R. Burke, M. A. Crookenden, A. Heiser, J. L. Looor, S. Meier, M. D. Mitchell, C. V. C. Phyn, S. A. Turner // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2018. — V. 30. — P. 85–100.
2. Wathes D. C. Associations between lipid metabolism and fertility in the dairy cow / D. C. Wathes, A. M. Clem-
p-son, G. E. Pollott // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2012. — V. 25. — P. 48–61.
3. Chagas L. M. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the sub-
fertility of high-producing dairy cows / L. M. Chagas, J. J. Bass, D. Blache, C. R. Burke, J. K. Kay,
D. R. Lindsay, M. C. Lucy, G. B. Martin, S. Meier, F. M. Rhodes, J. R. Roche, W. W. Thatcher, R. Webb //
J. Dairy Sci. — 2007. — V. 90. — P. 4022–4032.
4. Walsh S. W. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows / S. W. Walsh,
E. J. Williams, A. C. Evans // *Anim. Reprod. Sci.* — 2011. — V. 123. — P. 127–138.
5. Leroy J. L. Nutrition and maternal metabolic health in relation to oocyte and embryo quality: critical views on
what we learned from the dairy cow model / J. L. Leroy, S. D. Valckx, L. Jordaens, J. De Bie, K. L. Desmet,
V. Van Hoeck, J. H. Britt, W. F. Marei, P. E. Bols // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2015. — V. 27. — P. 693–703.
6. Leroy J. L. The consequences of metabolic changes in high-yielding dairy cows on oocyte and embryo quality /
J. L. Leroy, A. Van Soom, G. Opsomer, P. E. Bols // *Animal.* — 2008. — V. 2. — P. 1120–1127.
7. González F. D. Relationship among blood indicators of lipomobilization and hepatic function during early
lactation in high-yielding dairy cows / F. D. González, R. Muiño, V. Pereira, R. Campos, J. L. Benedito //
J. Vet. Sci. — 2011. — V. 12. — P. 251–255.
8. Rizos D. Bovine embryo culture in the presence or absence of serum: implications for blastocyst development,
cryotolerance, and messenger RNA expression / D. Rizos, A. Gutierrez-Adan, S. Perez-Garnelo, J. De La
Fuente, M. P. Boland, P. Lonergan // *Biol. Reprod.* — 2003. — V. 68. — P. 236–243.
9. Mityashova O. S. Metabolism and reproductive function during the postpartum period in first-calf cows
when introducing the placenta extract / O. S. Mityashova, I. V. Gusev, I. Yu. Lebedeva // *Agricultural
Biology.* — 2017. — V. 52. — №. 2. — P. 323–330.
10. Castro N. Metabolic and energy status during the dry period is crucial for the resumption of ovarian activity post-
partum in dairy cows / N. Castro, C. Kawashima, H. A. van Dorland, I. Morel, A. Miyamoto, R. M. Bruck-
maier // *J. Dairy Sci.* — 2012. — V. 95. — P. 5804–5812.
11. Miqueo E. Association between prepartum metabolic status and resumption of postpartum ovulation in dairy
cows / E. Miqueo, A. Chiarle, M. J. Giuliadori, A. E. Relling // *Domest. Anim. Endocrinol.* — 2019. —
V. 69. — P. 62–67.
12. Kawashima C. Influence of hepatic load from far-off dry period to early postpartum period on the first post-
partum ovulation and accompanying subsequent fertility in dairy cows / C. Kawashima, N. Ito, S. Na-
gashima, M. Matsui, K. Sawada, F. J. Schweigert, A. Miyamoto, K. Kida // *J. Reprod. Dev.* — 2016. —
V. 62. — P. 289–295.
13. Lussier J. G. Growth rates of follicles in the ovary of the cow / J. G. Lussier, P. Matton, J. J. Dufour //
J. Reprod. Fertil. — 1987. — V. 81. — P. 301–307.
14. Norms and rations for feeding farm animals [in Russian]. Reference manual. 3rd ed. revised and expanded /
Kalashnikov A. P., Fisinin V. I., Shcheglov V. V., Kleimenov N. I., editors. — Moscow, 2003. — 456 p.
15. Humer E. Alterations of the lipid metabolome in dairy cows experiencing excessive lipolysis early postpartum /
E. Humer, A. Khol-Parisini, B. U. Metzler-Zebeli, L. Gruber, Q. Zebeli // *PLoS One.* — 2016. — V. 11. —
P. e0158633.
16. Cole L. Phosphatidylcholine biosynthesis and lipoprotein metabolism / L. Cole, J. Vance, D. Vance //
Biochim. Biophys. Acta. — 2012. — V. 1821. — P. 754–761.
17. Bernard L. Expression and nutritional regulation of lipogenic genes in the ruminant lactating mammary
gland / L. Bernard, C. Leroux, Y. Chilliard // *Adv. Exp. Med. Biol.* — 2008. — V. 606. — P. 67–108.