

О. В. Алейникова, Е. К. Монтвила, А. А. Смекалова

## Показатели липидного обмена и их связь с тиреоидным статусом в сухостойный и послеотельный периоды у коров с разной фертильностью

### Аннотация.

У коров черно-пестрой породы с пониженной фертильностью в сухостойный и ранний послеотельный периоды наблюдаются изменения в функционировании тиреоидной системы, отличающиеся от таковых у особей с высокой фертильностью. Такие изменения могут приводить к недостатку источников энергии в критический переходный период.

**Цель:** изучить динамику изменения содержания липидов до и после отела и ее ассоциацию с содержанием тиреоидных гормонов в крови коров черно-пестрой породы с разной фертильностью.

**Материалы и методы.** В исследовании были использованы коровы черно-пестрой голштинизированной породы 2-4 лактации. У животных брали кровь за 6, 4 и 2 недели до отела и через 1, 3, 7 и 13 недель после отела. В образцах сыворотки крови определяли содержание липидов на биохимическом анализаторе, а также тиреоидных гормонов и прогестерона методом ИФА. Коров осеменяли после обработки по протоколу *Ovsynch*, наличие стельности оценивали на 33-й день на основании УЗИ и уровня прогестерона в крови.

**Результаты.** Коров поделили на две группы: I – стельные особи ( $n=17$ ) и II – особи, оставшиеся бесплодными ( $n=12$ ). Молочная продуктивность животных и их упитанность до и после отела были сходными в сравниваемых группах. Через 13 недель после отела у коров II группы содержание холестерина в крови было в 1,2 раза ниже ( $p<0,05$ ) по сравнению с этим содержанием у животных I группы. В то же время концентрация фосфолипидов в крови особей II группы за 6 недель до отела была в 1,3 раза выше, чем у особей I группы ( $p<0,05$ ). Кроме того, уровень триглицеридов у коров I группы через 3 недели после отела в 1,2 раза превышал таковой ( $p<0,05$ ) у животных II группы. В послеотельный период в I группе содержание в крови холестерина и триглицеридов положительно коррелировало с содержанием общего тироксина, тогда как во II группе такая корреляция не была выявлена.

**Заключение.** Таким образом, метаболическое состояние коров с более высокой фертильностью характеризовалось повышенной обеспеченностью липидными источниками энергии в послеотельный период по сравнению с животными с низкой фертильностью. В то же время пониженное содержание триглицеридов на ранней стадии лактации в крови коров, оставшихся бесплодными, указывает на их повышенную аккумуляцию печени. Положительная связь между концентрацией в крови общего тироксина и концентрацией триглицеридов и холестерина, выявленная в послеотельный период у коров с высокой фертильностью, свидетельствует об участии тиреоидного гормона в поддержании репродуктивной функции этих животных путем модуляции липидного обмена.

**Ключевые слова:** коровы черно-пестрой породы, сухостойный и предотельный периоды, фертильность, липидный обмен, тиреоидные гормоны.

Авторы:

Алейникова О. В. – e-mail: 68ovk@mail.ru;

Монтвила Е. К. – e-mail: montvila94@bk.ru;

Смекалова А. А. – e-mail: araksia86@mail.ru.

Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста; 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60.

**Введение.** У молочных коров переход от стельности к лактации сопровождается физиологическими изменениями процессов, связанных с липидным обменом, которые особенно выражены в первые 3-5 недель после отела [1]. В этот период животные не способны покрыть за счет

потребляемого корма резко возросшие потребности в энергии и нутриентах, необходимые для поддержания лактации, что приводит к отрицательному энергетическому балансу в организме [2]. Как следствие, активируются гомеостатические механизмы метаболической адаптации, од-

ним из которых служит мобилизация жировых депо [3]. При этом в крови повышается содержание свободных жирных кислот, которые используются для синтеза молочного жира или как дополнительный источник энергии после частичного окисления до ацетил-КоА [4]. В случае чрезмерного липолиза избыточные свободные жирные кислоты утилизируются печенью путем синтеза триацилглицеридов, что может приводить к ее ожирению, а избыточный ацетил-КоА окисляется до кетоновых тел, повышая риск клинического или субклинического кетоза. Оба заболевания ухудшают общий иммунитет коров и их репродуктивное здоровье, тогда как свободные жирные кислоты и кетоновые тела при повышенной концентрации в крови, сопряженной с соответствующей концентрацией в фолликулярной жидкости, способны оказывать отрицательное воздействие на репродуктивную функцию животных, включая качество яйцеклеток и эмбрионов [5-7].

Физиологические изменения затрагивают в переходный период и другие компоненты липидного обмена — холестерин, фосфолипиды и триглицериды, которые обеспечивают источник энергии в организме и необходимы для функционирования эндокринной системы и некоторых внутриклеточных сигнальных путей [6]. Эти изменения, по-видимому, также ассоциированы с состоянием репродуктивной системы у молочных коров, но выражены в меньшей степени, чем процессы, сопряженные с липолизом. Так, некоторыми исследователями продемонстрирована связь между повышенным содержанием холестерина в крови животных голштинской породы и более коротким интервалом от отела до плодотворного осеменения [8, 9]. Обнаружено снижение сывороточной концентрации фосфолипидов и триглицеридов у коров-первотелок черно-пестрой породы с гипофункцией яичников или длительным бесплодием [10]. Причем у особей с глубокой депрессией овариальной активности эта концентрация коррелировала с уровнем трийодтиронина в крови [11].

Гормоны щитовидной железы служат ключевыми регуляторами липидного обмена [12]. Таким образом, они могут влиять на способность молочных коров адаптироваться к метаболическому стрессу в переходный период [13, 14], а также модулировать их репродуктивную способность [11, 15]. Кроме того, у черно-пестрых коров с пониженной фертильностью в сухостойный и ранний послеотельный периоды нами наблюдались изменения в функционировании тиреоидной системы, отличающиеся от таковых у особей

с высокой фертильностью [16]. Было выдвинуто предположение, что такие изменения могли приводить к недостатку источников энергии в критический период перехода от стельности к лактации и, следовательно, служить одной из причин ухудшения репродуктивной способности животных. Для подтверждения этой гипотезы нами был проведен сравнительный анализ показателей липидного обмена в сухостойный и послеотельный периоды в связи с тиреоидным профилем и последующей результативностью искусственного осеменения коров.

**Цель исследований** — изучить динамику изменения содержания липидов до и после отела и его ассоциацию с содержанием тиреоидных гормонов в крови коров черно-пестрой породы с разной фертильностью.

**Материалы и методы.** В исследовании были использованы коровы черно-пестрой голштинизированной породы со 2-й по 4-ю лактацию со средним уровнем продуктивности  $6269 \pm 183$  кг молока за 305 дней лактации ( $n=29$ ). Животные содержались в экспериментальном хозяйстве «Кленово-Чегодаево», г. Москва. Рацион кормления был одинаковым у всех животных и соответствовал зоотехническим нормам. Оценка упитанности коров проводили за 2 недели до отела и через 1 неделю после отела при использовании пятибалльной шкалы [17].

Кровь на анализ отбирали в пробирки с активатором сыворотки за 6, 4 и 2 недели до отела и через 1, 3, 7 и 13 недель после отела. Образцы крови доставляли в лабораторию в течение 3 ч и путем центрифугирования получали сыворотку, которую затем замораживали и хранили при  $-30$  °С (для анализа содержания липидов и прогестерона) или  $-70$  °С (для определения содержания тиреоидных гормонов).

С целью осеменения выбирали коров, не имеющих послеродовых акушерско-гинекологических заболеваний и восстановивших овариальную цикличность. Синхронизацию половой охоты и стимуляцию овуляции выполняли в соответствии с протоколом Ovsynch. Наличие стельности оценивали на 33-й день после осеменения с помощью УЗИ-сканера CTS-800 (SIUI, Китай). Для подтверждения стельности также использовали концентрацию прогестерона в крови, которую отбирали через 14, 21 и 33 дня после осеменения.

В образцах сыворотки крови определяли содержание холестерина, фосфолипидов и триглицеридов на автоматическом биохимическом анализаторе ChemWell (Awareness Technology, США) при использовании реагентов компании

«Spinreact» (Испания). Концентрацию гормонов измеряли методом иммуноферментного анализа на планшетном спектрофотометре Униплан («Пикон», Россия). При проведении анализов использовали наборы реагентов «DRG Instruments GmbH», Германия (тироксин, трийодтиронин) и

ООО «Хема», Россия (прогестерон). Чувствительность метода составляла 6,4 нмоль/л для общего тироксина (Т4), 0,31 нмоль/л для общего трийодтиронина (Т3) и 0,25 нмоль/л для прогестерона. При анализе образцов в двух повторностях коэффициент вариации был не более 18 %.

Таблица 1. Упитанность коров с разной фертильностью в сухостойный послеотельный периоды

Показатели	I группа	II группа
2 недели до отела	3,67±0,09 <sup>a</sup>	3,68±0,13 <sup>c</sup>
1 неделя после отела	3,27±0,07 <sup>b</sup>	3,11±0,11 <sup>d</sup>

Примечание: <sup>a,b</sup>p<0,001; <sup>c,d</sup>p<0,01.

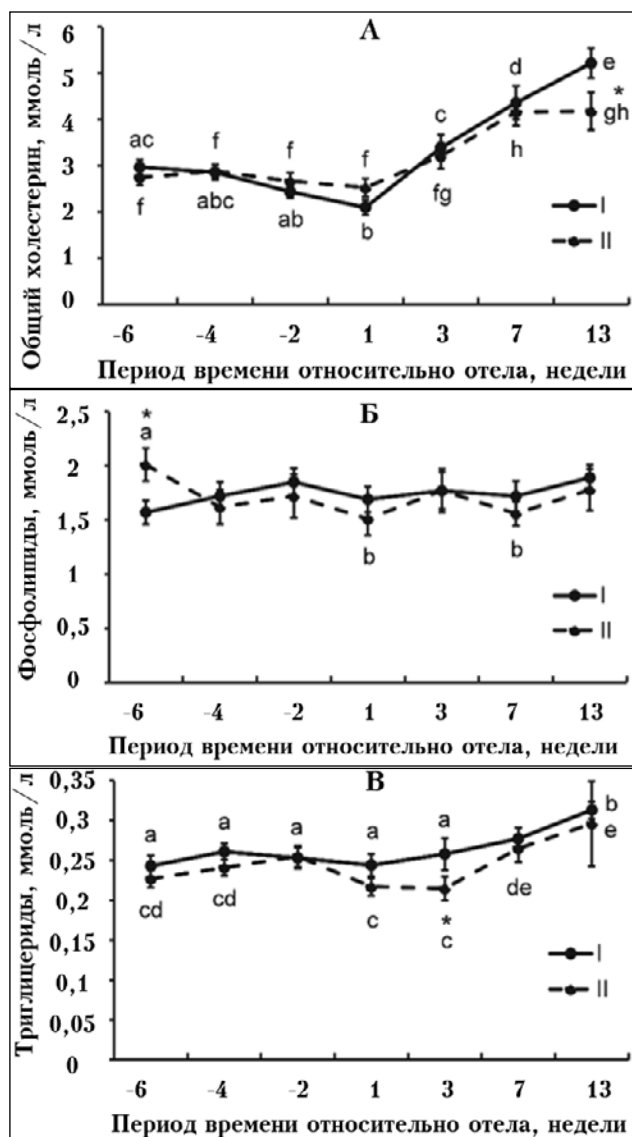


Рис. 1. Показатели липидного обмена в сухостойный и послеотельный периоды в крови коров при разной результативности осеменения. А: концентрация общего холестерина. Б: концентрация фосфолипидов. В: концентрация триглицеридов. Средние значения, не имеющие общих буквенных индексов, достоверно различаются внутри одной группы (p<0,001 - p<0,05). Различия между группами: \*p<0,05.

Статистическую обработку полученных данных выполняли методом однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями. С этой целью использовали компьютерную программу SigmaStat 4.0. Выявление достоверных различий между средними значениями проводили с помощью критерия Тьюки при минимальном уровне значимости p<0,05. Для вычисления корреляционных отношений применяли коэффициент Пирсона.

**Результаты и обсуждение.** Коров поделили на две группы в соответствии с результативностью искусственного осеменения, установленной на 33-й день: I – стельные особи (n=17) и II – особи, оставшиеся бесплодными (n=12). Молочная продуктивность животных за 305 дней лактации была сходной в сравниваемых группах (6348±254 и 6151±265 кг при содержании жира 3,97±0,07 и 4,12±0,05 %, соответственно). Упитанность снижалась во время переходного периода у всех особей, при этом между группами не обнаружено достоверных различий ни до, ни после отела (табл. 1). Следовательно, в сравниваемых группах животных уровень липолиза был практически одинаковым и не мог быть причиной разной фертильности.

Концентрация общего холестерина в крови коров I группы снижалась между 6-й неделей до отела и 1-й неделей после отела (с 2,97 ± 0,16 до 2,10 ± 0,16 ммоль/л, p<0,01), возрастала в 1,6 раза (p<0,001) к 3-й неделе и продолжала повышаться (в 2,4 раза, p<0,001) до 13-й недели (рис. 1А). У животных II группы изменение содержания холестерина в крови было менее выраженным. Оно не изменялось существенно до 1 недели лактации (2,53 ± 0,20 ммоль/л) и повышалось после отела только к 7-й неделе (в 1,6 раза, p<0,001). При этом через 13 недель после отела у особей II группы концентрация холестерина в крови была в 1,2 раза ниже (p<0,05), чем у особей I группы. Полученные данные свидетельствуют о пониженном синтезе холестерина в печени коров с низкой фертильностью в конце первого триместра лактации.

Содержание фосфолипидов в крови коров I группы варьировало лишь незначительно (1,57-1,89 ммоль/л) на протяжении всего периода наблюдений (рис. 1Б). Фосфолипидный профиль

у животных во II группе был сходен с таковым в I группе с 4-й недели до отела по 13-ю неделю лактации. В то же время за 6 недель до отела концентрация фосфолипидов в крови особей II группы была в 1,3 раза выше, чем у особей I группы ( $p < 0,05$ ), но снижалась в 1,3 раза к 1-й неделе лактации ( $p < 0,01$ ). Следовательно, у животных с пониженной фертильностью продукция фосфолипидов печенью в сухостойный период была повышена.

У коров I группы содержание триглицеридов в крови было относительно постоянным с 6-й недели до отела по 3-ю неделю после отела (0,243-0,261 ммоль/л), постепенно возрастая в 1,2 раза ( $p < 0,01$ ) к 13-й неделе (рис. 1В). Во II группе этот показатель был самым низким через 3 недели лактации ( $0,215 \pm 0,015$  ммоль/л) и повышался в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ) и 1,4 раза ( $p < 0,001$ ) к 7-й и 13-й неделе, соответственно. Кроме того, через 3 недели после отела концентрация триглицеридов у животных I группы в 1,2 раза превышала таковую ( $p < 0,05$ ) у животных II группы.

После отела содержание триглицеридов в крови молочных коров зависит от интенсивности их аккумуляции печенью во время негативного энергетического баланса [18] и роста потребности молочной железы в синтезе молочного жира [19]. Триглицериды попадают в кровь в составе липопротеинов очень низкой плотности, для образования которых необходим холестерин [6] и фосфатидилхолина, наиболее распространенные фосфолипиды [20]. В нашем исследовании молочная продуктивность коров с высокой и низкой фертильностью не различалась, что свидетельствует о сходной потребности в синтезе молочного жира. Кроме того, с 1-й по 7-ю недели лактации концентрации холестерина и фосфолипидов в крови животных сравниваемых групп были одинаковыми и, следовательно, не могли обуславливать разную способность печени синтезировать липопротеины. Таким образом, понижен-

ное содержание триглицеридов в ранний период лактации в крови коров с низкой фертильностью, очевидно, было результатом интенсивной аккумуляции триглицеридов печенью, приводящей к жировому гепатозу. В свою очередь, ухудшение функции печени негативно влияет на репродуктивную способность коров [21].

Ассоциативные исследования показали однонаправленную (хотя и разную по силе) зависимость между концентрацией холестерина, триглицеридов и тиреоидных гормонов перед отелом у животных обеих групп (табл. 2). В то же время в послеотельный период в I группе содержание в крови холестерина и триглицеридов положительно коррелировало с содержанием общего тироксина, тогда как во II группе такая корреляция не была выявлена. По-видимому, более высокий уровень этих липидов у коров с высокой фертильностью был обусловлен, по крайней мере частично, воздействием на печень тироксина.

**Заключение.** Таким образом, метаболическое состояние коров с более высокой фертильностью характеризовалось повышенной обеспеченностью липидными источниками энергии в послеотельный период по сравнению с животными с низкой фертильностью. У коров, ставших стельными после осеменения, обнаружено более высокое содержание в крови триглицеридов (через 3 недели лактации) и холестерина (через 13 недель лактации), чем у особей, оставшихся бесплодными. В то же время пониженное содержание триглицеридов на ранней стадии лактации в крови животных с низкой фертильностью указывает на их повышенную аккумуляцию печенью. Положительная связь между концентрацией в крови общего тироксина и концентрацией триглицеридов и холестерина, выявленная в послеотельный период у коров с высокой фертильностью, свидетельствует об участии тиреоидного гормона в поддержании репродуктивной функции этих животных путем модуляции липидного обмена.

Таблица 2. Связь между показателями липидного обмена и содержанием тиреоидных гормонов в крови коров

Сравниваемые концентрации		Коэффициент корреляции r	
		I группа	II группа
До отела			
Общий Т3	Холестерин	0,390**	0,273
Общий Т3	Триглицериды	-0,358*	-0,308+
Общий Т4	Триглицериды	-0,227	-0,346*
После отела			
Общий Т4	Холестерин	0,322**	0,047
Общий Т4	Триглицериды	0,275*	0,12

Примечание:  $p < 0,1$ ; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ .

*Работа выполнена при финансовой поддержке  
Министерства науки и высшего образования РФ (ГЗ № 0445-2021-0004).*

## 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. DOI: 10.1071/RD17412.
2. Kuhla B. Endogenous and dietary lipids influencing feed intake and energy metabolism of periparturient dairy cows / B. Kuhla, C. C. Metges, H. M. Hammon // *Domest. Anim. Endocrinol.* – 2016. – V. 56, Suppl. – P. S2-S10. DOI: 10.1016/j.domaniend.2015.12.002.
3. Ehrhardt R.A. Increased plasma leptin attenuates adaptive metabolism in early lactating dairy cows / R. A. Ehrhardt, A. Foskolos, S. L. Giesy, et al. // *J. Endocrinol.* – 2016. – V. 229. – P. 145-157.
4. Van Kneegsel A. T. M. Effect of dietary energy source on energy balance production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle: a review / A. T. M. Van Kneegsel, H. van den Brand, J. Dijkstra, et al. // *J. Reprod. Nutr. Dev.* – 2005. – V. 45. – P. 665-688. DOI: 10.1051/rnd:2005059.
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, et al. // *Reprod. Fertil. Dev.* – 2015. – V. 27. – P. 693-703. DOI: 10.1071/RD14363.
6. 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.
7. Shin E. K. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows / E. K. Shin, J. K. Jeong et al. // *Theriogenology.* – 2015. – V. 84. – P. 252-260.
8. Westwood C. T. Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: a multivariate description / C. T. Westwood, I. J. Lean, J. K. Garvin // *J. Dairy Sci.* – 2002. – V. 85. – P. 3225-3237.
9. Reist M. Postpartum reproductive function: association with energy, metabolic and endocrine status in high yielding dairy cows / M. Reist, D. K. Erdin, D. von Euw, et al. // *Theriogenology.* – 2003. – V. 59. – P. 1707-1723. DOI: 10.1016/s0093-691x(02)01238-4.
10. Митяшова О. С. Липидный обмен у коров-первотелок при разном состоянии репродуктивной системы / О. С. Митяшова, А. А. Соломахин, И. Ю. Лебедева // *Генетика и разведение животных.* – 2020. – № 4. – С. 33-38. DOI: 10.31043/2410-2733-2020-4-33-38.
11. Митяшова О. С. Липидный обмен и тиреоидный статус у коров-первотелок с разным функциональным состоянием яичников / О. С. Митяшова, А. А. Соломахин, Н.В. Боголюбова и др. // *Достижения науки и техники АПК.* – 2020. – Т. 34. – № 2. – С. 69-74. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10215.
12. Mullur R. Thyroid hormone regulation of metabolism / R. Mullur, Y.Y. Liu, G.A. Brent // *Physiol. Rev.* – 2014. – V. 94. – P. 355-382. DOI: 10.1152/physrev.00030.2013.
13. Samanc H. Thyroid hormones concentrations during the mid-dry period: an early indicator of fatty liver in Holstein-Friesian dairy cows / H. Samanc, Stojić V. et al. // *J. Thyroid Res.* – 2010. – V. 2010.
14. Piechotta M. Antepartal insulin-like growth factor concentrations indicating differences in the metabolic adaptive capacity of dairy cows / M. Piechotta, L. Holzhausen, M.G. Araujo et al. // *J. Vet. Sci.* – 2014. – V. 15. – P. 343-352. DOI: 10.4142/jvs.2014.15.3.343.
15. Kafi M. Relationships between thyroid hormones and serum energy metabolites with different patterns of postpartum luteal activity in high-producing dairy cows / M. Kafi, A. Tamadon, M. Saeb et al. // *Animal.* – 2012. – V. 6. – P. 1253-1260. DOI: 10.1017/S1751731112000043.
16. Алейникова О.В. Концентрация тиреоидных гормонов в крови коров в сухостойный и послетельный периоды в связи с последующей результативностью осеменения / О.В. Алейникова, Е.К. Монтвила // *Зоотехния.* – 2021. – №12. – С. 19-23. DOI: 10.25708/ZT.2021.78.51.006.
17. Kellogg W. Body Condition Scoring with Dairy Cattle (Электронный ресурс) / W. Kellogg // University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services URL – Режим доступа: <https://cdqap.org/wp-content/uploads/2021/06/13-02-Body-Condition-Scoring-With-Dairy-Cattle.pdf>.
18. Bremmer D.R. Changes in hepatic microsomal triglyceride transfer protein and triglyceride in periparturient dairy cattle / D.R. Bremmer, S.J. Bertics, S.A. Besong, R.R. Grummer // *J. Dairy Sci.* – 2000. – V. 83. – P. 2252-2260. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75109-5.
19. 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.

20. Cole L. Phosphatidylcholine biosynthesis and lipoprotein metabolism / L. Cole, J. Vance, D. Vance // Biochim. Biophys. Acta. – 2012. – V. 1821. – P. 754-761. DOI: 10.1016/j.bbalip.2011.09.009.
21. Соломахин А. А. Показатели работы печени в послеотельный период у коров с депрессией овариальной функции в первую и последующие лактации / А. А. Соломахин, А. А. Смекалова, И. Ю. Лебедева // Зоотехния. – 2020. – № 12. – С. 20-25. DOI: 10.25708/ZT.2020.83.72.006.

Aleinikova O., Montvila E., Smekalova A.

## Indicators of lipid metabolism and their relationship with the thyroid status during the dry and post-calving periods in cows with different fertility

### Abstract.

*In black-and-white cows with reduced fertility, during the dry and early post-calving periods, changes in the functioning of the thyroid system are observed, which differ from those in individuals with high fertility. Such changes may lead to a lack of energy sources during the critical transition period.*

**Purpose:** To study the dynamics of changes in the lipid content before and after calving and its association with the content of thyroid hormones in the blood of black-and-white cows with various fertility.

**Materials and methods.** Black-and-white cows of lactation 2-4 were used in the study. The animals were bled 6, 4 and 2 weeks before calving and 1, 3, 7 and 13 weeks after calving. In blood serum samples, the content of lipids was determined using a biochemical analyzer, as well as thyroid hormones and progesterone using ELISA. Cows were inseminated after treatment according to the Ovsynch protocol, and pregnancy was assessed on Day 33 based on ultrasound examination and progesterone levels in the blood.

**Results.** The cows were divided into two groups: I – pregnant individuals (n=17) and II – individuals that remained infertile (n=12). The milk productivity of animals and their BCS before and after calving were similar in the compared groups. Thirteen weeks after calving, the cholesterol content in the blood of cows of group II was 1.2 times lower ( $p<0.05$ ) compared to this content in animals of group I. At the same time, 6 weeks before calving, the concentration of phospholipids in the blood of individuals of group II was 1.3 times higher than that of individuals of group I ( $p<0.05$ ). In addition, 3 weeks after calving, the level of triglycerides in cows of group I was 1.2 times higher ( $p<0.05$ ) than that in animals of group II. During the postpartum period, the blood levels of cholesterol and triglycerides in animals of group I positively correlated with the content of total thyroxine, whereas such a correlation was not detected in group II.

**Conclusions.** Thus, the metabolic state of cows with higher fertility was characterized by an increased supply of lipid energy sources during the post-calving period compared to animals with low fertility. At the same time, the reduced content of triglycerides at the early stage of lactation in the blood of cows that remained infertile points to their increased accumulation by the liver. A positive relationship between the concentration of total thyroxine in the blood and the concentration of triglycerides and cholesterol, revealed during the post-calving period in cows with high fertility, suggests the participation of the thyroid hormone in maintaining the reproductive function of these animals by modulating lipid metabolism.

**Key words:** bone strength, mineral bone density, bone breaking strength, osteoporosis, DNA-markers, medullary bone.

Authors:

Aleinikova O. – e-mail: 68ovk@mail.ru;

Montvila E. – e-mail: montvila94@bk.ru;

Smekalova A. – e-mail: araksia86@mail.ru.

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

### 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. Fert. Dev. – 2018. – V. 30. – P. 85-100. DOI: 10.1071/RD17412.

2. Kuhla B. Endogenous and dietary lipids influencing feed intake and energy metabolism of periparturient dairy cows / B. Kuhla, C. C. Metges, H. M. Hammon // *Domest. Anim. Endocrinol.* – 2016. – V. 56, Suppl. – P. S2-S10. DOI: 10.1016/j.domaniend.2015.12.002.
3. Ehrhardt R.A. Increased plasma leptin attenuates adaptive metabolism in early lactating dairy cows / R. A. Ehrhardt, A. Foskolos, S. L. Giesy, et al. // *J. Endocrinol.* – 2016. – V. 229. – P. 145-157.
4. Van Knegsel A. T. M. Effect of dietary energy source on energy balance production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle: a review / A. T. M. Van Knegsel, H. van den Brand, J. Dijkstra, et al. // *J. Reprod. Nutr. Dev.* – 2005. – V. 45. – P. 665-688. DOI: 10.1051/rnd:2005059.
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, et al. // *Reprod. Fertil. Dev.* – 2015. – V. 27. – P. 693-703. DOI: 10.1071/RD14363.
6. 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.
7. Shin E. K. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows / E. K. Shin, J. K. Jeong, I. S. Choi, et al. // *Theriogenology.* – 2015. – V. 84. – P. 252-260.
8. Westwood C. T. Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: a multivariate description / C. T. Westwood, I. J. Lean, J. K. Garvin // *J. Dairy Sci.* – 2002. – V. 85. – P. 3225-3237.
9. Reist M. Postpartum reproductive function: association with energy, metabolic and endocrine status in high yielding dairy cows / M. Reist, D. K. Erdin, D. von Euw, et al. // *Theriogenology.* – 2003. – V. 59. – P. 1707-1723. DOI: 10.1016/s0093-691x(02)01238-4.
10. Mityashova O.S. Lipid metabolism in primiparous cows with a various state of the reproductive system / O.S. Mityashova, A.A. Solomakhin, I.Yu. Lebedeva // *Genetika i razvedenie zhivotnyh.* – 2020. – № 4. – P. 33-38. DOI: 10.31043/2410-2733-2020-4-33-38.
11. Mityashova O.S. Lipid metabolism and thyroid status of heifers with different functional conditions of the ovaries / O.S. Mityashova, A.A. Solomakhin, N.V. Bogolyubova et al. // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2020. – V. 34. – № 2. – P. 69-74. [in Russian] doi: 10.24411/0235-2451-2020-10215
12. Mullur R. Thyroid hormone regulation of metabolism / R. Mullur, Y.Y. Liu, G.A. Brent // *Physiol. Rev.* – 2014. – V. 94. – P. 355-382. DOI: 10.1152/physrev.00030.2013.
13. Samanc H. Thyroid hormones concentrations during the mid-dry period: an early indicator of fatty liver in Holstein-Friesian dairy cows / H. Samanc, Stojić V., Kirovski D. et al. // *J. Thyroid Res.* – 2010. – V. 2010.
14. Piechotta M. Antepartal insulin-like growth factor concentrations indicating differences in the metabolic adaptive capacity of dairy cows / M. Piechotta, L. Holzhausen, M.G. Araujo et al. // *J. Vet. Sci.* – 2014. – V. 15. – P. 343-352. DOI: 10.4142/jvs.2014.15.3.343.
15. Kafi M. Relationships between thyroid hormones and serum energy metabolites with different patterns of postpartum luteal activity in high-producing dairy cows / M. Kafi, A. Tamadon, M. Saeb et al. // *Animal.* – 2012. – V. 6. – P. 1253-1260. DOI: 10.1017/S1751731112000043.
16. Aleynikova O. V. Blood concentrations of thyroid hormones during the dry and postpartum periods in connection with the subsequent effectiveness of cow insemination / O. V. Aleynikova, E. K. Montvila // *Zootekhnika.* – 2021. – № 12. – P. 19-23. DOI: 10.25708/ZT.2021.78.51.006.
17. Kellogg W. Body Condition Scoring with Dairy Cattle (Электронный ресурс) / W. Kellogg // University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services URL – Режим доступа: <https://cdqap.org/wp-content/uploads/2021/06/13-02-Body-Condition-Scoring-With-Dairy-Cattle.pdf>.
18. Bremmer D.R. Changes in hepatic microsomal triglyceride transfer protein and triglyceride in periparturient dairy cattle / D.R. Bremmer, S.J. Bertics, S.A. Besong, R.R. Grummer // *J. Dairy Sci.* – 2000. – V. 83. – P. 2252-2260. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75109-5.
19. 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.
20. Cole L. Phosphatidylcholine biosynthesis and lipoprotein metabolism / L. Cole, J. Vance, D. Vance // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2012. – V. 1821. – P. 754-761. DOI: 10.1016/j.bbali.2011.09.009.
21. Solomakhin A. A. Indicators of liver functioning in the postpartum period in cows with depression of the ovarian function during the first and subsequent lactations / A. A. Solomakhin, A. A. Smekalova, I. Yu. Lebedeva // *Zootekhnika.* – 2020. – № 12. – P. 20-25.