

РЕПРОДУКТИВНЫЙ СТАТУС И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У ГОЛШТИНСКИХ КОРОВ С РАЗНОЙ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ В СВЯЗИ С ОБМЕНОМ ЛИПИДОВ В ПОСЛЕОТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД*

И.Ю. ЛЕБЕДЕВА¹, В.Б. ЛЕЙБОВА², А.А. СОЛОМАХИН¹,
О.С. МИТЯШОВА¹, Р.А. РЫКОВ¹

В ранний период лактации энергетические потребности высокоудойных коров резко возрастают, что приводит к возникновению отрицательного энергетического баланса. Для его компенсации организм расходует внутренние ресурсы, главным образом запасы липидов. Нормализация продукции холестерина в начале послеродового периода, очевидно, связана с повышением воспроизводительной способности животных. Вместе с тем остается неясным, какую роль в регуляции репродуктивной функции может играть изменение содержания в крови триглицеридов. Мы впервые сравнили продолжительность сервис-периода у коров голштинской породы со средней (СП) и высокой молочной продуктивностью (ВП) в зависимости от положительной и отрицательной динамики концентрации триглицеридов в крови с конца 1-го до окончания 2-го мес лактации. Кроме того, нами выявлена связь между сервис-периодом, сывороточным содержанием триглицеридов и рядом других показателей обмена веществ. В экспериментах использовали коров (*Bos taurus taurus*) голштинской породы 1-го отела с удоём 6336±160 кг за 305 сут лактации ($n = 19$; ФГУП ЭХ «Клёново-Чегодаево», пос. Клёновское, г. Москва) и 2-3-го отела с удоём 10007±420 кг за 305 сут лактации ($n = 14$; ЗАО ПЗ «Приневское», Всеволожский р-н, Ленинградская обл.). Через 3-4 и 7-8 нед после отела у животных брали кровь для анализа биохимических показателей — содержания триглицеридов, общего холестерина, общего белка и его фракций, мочевины, креатинина, глюкозы, а также активности ферментов аспартатаминотрансферазы (АсАТ, ЕС 2.6.1.1) и аланинаминотрансферазы (АлАТ, ЕС 2.6.1.2). Всех коров разделили на две группы. В I группу входили животные, у которых содержание триглицеридов в крови снижалось к концу 2-го мес лактации (СП: $n = 10$, ВП: $n = 8$), во II — коровы, у которых не наблюдалось такого снижения (СП: $n = 9$, ВП: $n = 6$). Через 12 мес после отела во всех группах определяли средние значения для сервис-периода и удоя за 100 сут лактации. У коров с СП между 3-4-й и 7-8-й нед лактации сывороточная концентрация триглицеридов снижалась в 1,2 раза ($p < 0,001$) в I группе и повышалась в 1,1 раза ($p < 0,01$) во II группе. В крови у животных из обеих групп выявили значительное повышение содержания общего холестерина (в 1,2-1,3 раза). При этом сервис-период был в 1,6 раза короче в I группе, чем во II (86±12 против 140±21 сут, $p < 0,05$). У коров с ВП к концу 2-го мес лактации концентрация триглицеридов уменьшалась в 1,6 раза ($p < 0,01$) в I группе и увеличивалась в 2,0 раза ($p < 0,001$) во II группе. Содержание общего холестерина возрастало в 1,2-1,5 раза в крови у особей из обеих групп. Сервис-период в I группе оказался в 1,5 раза короче, чем во II, однако такое уменьшение не было достоверным. Кроме того, у этих животных удои за 100 сут лактации были на 534 кг выше, чем во II группе ($p < 0,05$). Корреляционный анализ выявил отрицательную связь между продолжительностью сервис-периода и содержанием триглицеридов в крови у коров с ВП в конце 1-го мес лактации ($r = -0,56$ при $p < 0,05$) и положительную связь между этими показателями у коров с СП и ВП в конце 2-го мес (соответственно $r = 0,60$ при $p < 0,01$ и $r = 0,56$ при $p < 0,05$). У животных с СП продолжительность сервис-периода была также ассоциирована с биохимическими показателями, которые коррелировали с сывороточной концентрацией триглицеридов. Таким образом, динамика липидного обмена у коров голштинской породы в середине 1-го триместра лактации характеризовалась ростом содержания общего холестерина в крови всех животных, тогда как содержание триглицеридов изменялось у разных особей неодинаково. Снижение концентрации триглицеридов в крови с конца 1-го до окончания 2-го мес лактации, очевидно, обуславливает улучшение репродуктивной функции и приводит к сокращению продолжительности сервис-периода независимо от молочной продуктивности животных. При этом у коров с высокой продуктивностью такое снижение более выражено и может быть связано с повышением удоя.

Ключевые слова: голштинская порода, коровы, триглицериды, обмен веществ, репродуктивная способность, молочная продуктивность.

Пониженная воспроизводительная способность коров молочного направления продуктивности представляет серьезную проблему для современного скотоводства (1, 2). В основе ослабленной фертильности (субфер-

* Работа выполнена по государственному заданию № 0600-2018-0016 (рег. ЦИТиС № АААА-А18-118021990006-9).
1180

тельности) животных лежат различные нарушения репродуктивной функции, в первую очередь удлинение послеотельного анэструса, дисфункция яичников, снижение жизнеспособности ооцитов и эмбрионов, а также ухудшение репродуктивного здоровья вследствие снижения общего иммунитета (1, 3). Эти нарушения наиболее характерны для коров голштинской породы и приводят к длительному межотельному интервалу, который значительно превышает 400 сут (4, 5). При этом срок хозяйственного использования голштинских коров составляет в среднем не более трех лактаций вследствие высокой выбраковки животных в стаде (6).

Как известно, воспроизводительная функция коров с высоким генетическим потенциалом молочной продуктивности критически зависит от интенсивности и направленности обменных процессов, находящихся под контролем метаболических гормонов (1, 7, 8). В ранний период лактации энергетические потребности животных резко возрастают, что сопровождается постепенной адаптацией организма к новому метаболическому состоянию. Недостаток питательных веществ не может быть немедленно восполнен за счет повышенного потребления корма, особенно в условиях снижения аппетита у таких коров (9). Формируется отрицательный энергетический баланс, для компенсации которого организм расходует внутренние ресурсы, главным образом запасы липидов (10, 11). Как следствие мобилизации жировых депо, в крови у животных возрастает содержание свободных жирных кислот, а их последующее окисление приводит к повышению количества кетоновых тел, в первую очередь β -гидроксибутирата (12-14). Концентрации свободных жирных кислот и β -гидроксибутирата в крови рассматривают в качестве индикаторов отрицательного энергетического баланса у высокоудойных коров в послеотельный период (15). Кроме того, повышение содержания этих метаболитов может негативно влиять на репродуктивную функцию, а также ухудшать репродуктивное здоровье животных из-за общего снижения иммунитета (7, 13, 14).

Липиды, включающие триглицериды, холестерин и фосфолипиды, а также их производные, обеспечивают организм энергией и играют значительную роль в функционировании эндокринной системы и некоторых внутриклеточных сигнальных путей (10).

В послеродовой период у голштинских коров содержание в крови липидов изменяется, что, вероятно, становится следствием адаптации организма к новому метаболическому состоянию. Обнаружено снижение концентрации холестерина непосредственно перед отелом и ее постепенное возрастание к концу 1-2-го мес лактации (16, 17). Кроме того, в послеотельный период содержание триглицеридов в крови ниже, чем в сухостойный. При этом повышение концентрации холестерина в крови у коров молочного типа в послеродовой период связано с более ранним восстановлением полового цикла и последующим уменьшением интервала от отела до плодотворного осеменения (18, 19).

Ранее мы показали, что при введении экстракта плаценты крупного рогатого скота коровам черно-пестрой породы перед отелом содержание холестерина в их крови в первые 3 нед после отела повышается, лютеальная активность яичников через 2 мес после отела усиливается, а последующий сервис-период сокращается (20). То есть нормализация продукции холестерина в начале послеродового периода, очевидно, связана с повышением воспроизводительной способности животных. Вместе с тем остается неясным, какую роль в регуляции репродуктивной функции коров может играть изменение содержания в крови триглицеридов — другого компонента липидного обмена.

В представленной работе мы впервые сравнили продолжительность

сервис-периода у коров голштинской породы со средней и высокой молочной продуктивностью (соответственно 6336 ± 160 и 10007 ± 420 кг за 305 сут лактации) в зависимости от характера изменений концентрации триглицеридов в сыворотке крови с конца 1-го до завершения 2-го мес лактации. Показано, что снижение и повышение содержания триглицеридов особенно выражены у животных с высокой молочной продуктивностью. При этом продолжительность сервис-периода связана с динамикой концентрации триглицеридов, а также с изменениями других показателей обмена веществ, коррелирующих с этой концентрацией.

Целью работы было изучение взаимосвязи репродуктивной функции и белково-углеводного метаболизма с динамикой липидного обмена в послеотельный период у коров с разной молочной продуктивностью.

Методика. Исследования проводили на базе ФГУП ЭХ «Клёново-Чегодаево» (поселение Клёновское, г. Москва) и ЗАО ПЗ «Приневское» (Всеволожский р-н, Ленинградская обл.) в 2016-2017 годах. В экспериментах использовали коров (*Bos taurus taurus*) черно-пестрой голштинской породы 1-го отела со средней молочной продуктивностью (6336 ± 160 кг за 305 сут лактации, ЭХ «Клёново-Чегодаево») и 2-3-го отела с высокой молочной продуктивностью (10007 ± 420 кг за 305 сут лактации, ПЗ «Приневское»). Животные находились в условиях беспривязного содержания. Рацион соответствовал зоотехническим нормам. Все опыты проводили в соответствии с принципами, изложенными в Хельсинской декларации (World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects, 1964-2013), и требованиями надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009).

Для опыта отобрали 19 коров со средней (СП) и 14 — с высокой молочной продуктивностью (ВП), восстановивших половой цикл, что подтверждалось нормальным проявлением половой охоты после 45-х сут лактации. Через 3-4 и 7-8 нед после отела (апрель—июль) из хвостовой вены животных с помощью вакуумной системы Apexlab («Hebei Xinle Sci&Tech Co., Ltd», Китай) брали кровь, которую в течение 1-2 ч доставляли в лабораторию. Сыворотку, полученную центрифугированием при 2500 g в течение 15 мин, замораживали и хранили при -20 °C. В образцах сыворотки крови определяли концентрацию триглицеридов, общего холестерина, общего белка и его фракций, мочевины, креатинина, глюкозы, а также активность ферментов аспаратаминотрансферазы (АсАТ, ЕС 2.6.1.1) и аланинаминотрансферазы (АлАТ, ЕС 2.6.1.2) на биохимических анализаторах ChemWell («Awareness Technology», США), ACCENT 200 («PZ CORMAY S.A.», Польша) с использованием реагентов фирм «Analyticon Biotechnology AG» (Германия) и «PZ CORMAY S.A.» (Польша).

Через 12 мес после отела на основании анализа данных зоотехнического и племенного учета во всех группах коров определяли средние значения для сервис-периода и удоя за 100 сут лактации.

Полученные данные обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA) или двухфакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями (two-way repeated measures ANOVA) в программе SigmaStat («Systat Software, Inc.», США). В таблицах приведены средние значения (M) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$). Достоверность различия оценивали с использованием критерия Тьюки (Tukey's test). Вычисление коэффициентов корреляции (r) по методу Пирсона и оценку их достоверности проводили с помощью программы SigmaStat.

Результаты. В соответствии с характером изменения концентрации

триглицеридов в крови между 3-4-й и 7-8-й нед лактации всех животных разделили на две группы. Выбор исследуемого периода лактации был основан на том, что в это время увеличивалась лютеальная активность яичников коров (20). В I группу вошли особи, у которых содержание триглицеридов в крови снижалось к концу 2-го мес лактации ($n = 10$ и $n = 8$ — соответственно коровы со средней и высокой молочной продуктивностью). У животных из II группы не отмечали такого снижения ($n = 9$ и $n = 6$). У коров со средней молочной продуктивностью между 3-4-й и 7-8-й нед лактации сывороточная концентрация триглицеридов снижалась в 1,2 раза ($p < 0,001$) в I группе и повышалась в 1,1 раза ($p < 0,01$) во II группе (табл. 1). Как следствие, к концу 2-го мес этот показатель был выше у коров с положительной динамикой концентрации триглицеридов ($p < 0,001$). К 7-8-й нед лактации в крови у особей из обеих групп выявили значительное повышение содержания общего холестерина (в 1,2-1,3 раза) и снижение коэффициента де Ритиса (АсАТ/АлАТ, в 1,8-2,1 раза), что может свидетельствовать о сдвиге метаболических процессов в сторону анаболизма. Кроме того, у животных из I группы возрастало содержание альбуминов (в 1,1 раза, $p < 0,01$) и мочевины (в 1,4 раза, $p < 0,01$), а также повышалась активность АлАТ (в 1,7 раза, $p < 0,01$). Эти данные указывают на улучшение белоксинтезирующей функции печени, которой сопутствовало повышение интенсивности цикла мочевины и глюкозо-аланинового цикла у животных с отрицательной динамикой содержания триглицеридов в крови.

1. Биохимические показатели крови в конце 1-го и 2-го мес лактации у коров голштинской породы со средней молочной продуктивностью в зависимости от изменения содержания триглицеридов в крови ($M \pm SEM$, $n = 19$; ФГУП ЭХ «Клёново-Чегодаево», пос. Клёновское, г. Москва, 2016-2017 годы)

Показатель	Время после отела			
	I группа ($n = 10$)		II группа ($n = 9$)	
	3-4 нед	7-8 нед	3-4 нед	7-8 нед
Триглицериды, ммоль/л	0,206±0,006	0,175±0,007**a	0,189±0,006	0,213±0,007* ^b
Холестерин общий, ммоль/л	3,89±0,19	4,90±0,14**	4,34±0,20	5,17±0,21*
Белок общий, г/л	86,8±1,7	87,8±2,1	88,3±2,9	91,6±2,5
Альбумины, г/л	24,6±0,8 ^c	27,2±0,6*	27,5±1,1 ^d	28,5±0,8
Глобулины, г/л	62,2±1,6	60,6±2,4	60,7±2,4	63,0±2,5
Мочевина, ммоль/л	4,90±0,43	6,91±0,43*	5,24±0,39	6,00±0,55
Креатинин, мкмоль/л	82,0±5,5	79,1±3,8	79,7±7,6	75,7±4,2
Глюкоза, ммоль/л	2,08±0,36	1,79±0,25	1,62±0,21	2,02±0,17
АсАТ, МЕ/л	70,1±3,4	62,2±4,6	87,7±14,9	66,7±4,6
АлАТ, МЕ/л	10,0±1,1	17,2±1,6*	11,9±1,6	15,2±0,8
АсАТ/АлАТ	7,99±1,03	3,87±0,50*	8,29±1,44	4,55±0,50*

Примечание. Средняя молочная продуктивность — 6336±160 кг за 305 сут лактации. Животных разделили на группы по динамике содержания триглицеридов в крови. АсАТ — аспаратаминотрансфераза, АлАТ — аланинаминотрансфераза.

a, b^p < 0,001, c, d^p < 0,05 — различия между группами статистически значимы при соответствующих p.

*, ** Различия между временными интервалами для одной группы статистически значимы соответственно при $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

У коров с высокой молочной продуктивностью изменения в содержании триглицеридов в крови были значительно более выражены (табл. 2). В конце 1-го мес лактации концентрация триглицеридов была в 1,9 раза выше ($p < 0,01$) в I группе, чем во II группе. К концу 2-го мес она снижалась в 1,6 раза ($p < 0,01$) у животных из I группы и повышалась в 2 раза ($p < 0,001$) у коров из II группы, в результате чего значения этого показателя во II группе оказались выше, чем в I ($p < 0,01$). Направленность изменений других показателей обмена веществ между 3-4-й и 7-8-й нед лактации также имела ряд особенностей. Для обеих групп животных было характерно значительное повышение содержания в крови не только общего холестерина (в 1,2-1,5 раза), но и мочевины (в 1,4-1,7 раза). В то же время 2-кратное снижение коэффициента де Ритиса в I группе

оказалось недостоверным из-за высокой вариабельности этого показателя, тогда как во II группе наблюдали некоторое его повышение. Следовательно, у значительной части коров с высокой молочной продуктивностью к концу 2-го мес лактации сдвиг метаболических процессов в сторону анаболизма еще не происходил. У животных из I группы в крови выявили возрастание активности АЛАТ (в 1,6 раза, $p < 0,05$), а также содержания общего белка (в 1,1 раза, $p < 0,05$), главным образом за счет глобулинов.

2. Биохимические показатели крови в конце 1-го и 2-го мес лактации у коров голштинской породы с высокой молочной продуктивностью в зависимости от изменения содержания триглицеридов в крови ($M \pm SEM$, $n = 14$; ЗАО ПЗ «Принева», Всеволожский р-н, Ленинградская обл., 2016-2017 годы)

Показатель	Время после отела			
	I группа ($n = 8$)		II группа ($n = 6$)	
	3-4 нед	7-8 нед	3-4 нед	7-8 нед
Триглицериды, ммоль/л	0,158±0,015 ^a	0,096±0,013 ^{***c}	0,082±0,015 ^b	0,162±0,014 ^{****d}
Холестерин общий, ммоль/л	3,51±0,21	5,21±0,22 ^{***}	3,80±0,11	4,64±0,24 [*]
Белок общий, г/л	72,3±1,2	76,0±0,7 [*]	74,1±3,2	72,5±2,7
Альбумины, г/л	34,4±0,9	35,8±1,2	32,7±1,8	32,6±0,9
Глобулины, г/л	37,9±1,4	40,2±1,4	41,4±2,4	39,9±2,5
Мочевина, ммоль/л	3,56±0,24	5,95±0,45 ^{***}	3,97±0,37	5,36±0,33 [*]
Креатинин, мкмоль/л	101,0±6,8	83,2±1,6	93,0±5,4	91,6±6,5
Глюкоза, ммоль/л	2,89±0,17	3,10±0,09	2,95±0,14	2,82±0,18
АсАТ, МЕ/л	96,3±5,1	85,2±1,8	81,2±5,4	82,2±4,4
АлАТ, МЕ/л	16,8±2,6	26,5±2,3 [*]	18,8±2,2	21,0±4,4
АсАТ/АлАТ	6,98±2,21	3,48±0,47	4,95±1,15	6,73±3,12

Примечание. Высокая молочная продуктивность — 10007±420 кг за 305 сут лактации. Животных разделили на группы по динамике содержания триглицеридов в крови. АсАТ — аспаратаминотрансфераза, АлАТ — аланинаминотрансфераза.

a, b, c, d Различия между группами статистически значимы соответственно при $p < 0,01$ и $p < 0,01$.

*, **, *** Различия между временными интервалами для одной группы статистически значимы при $p < 0,05$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Продолжительность периода от отела до плодотворного осеменения у коров со средней молочной продуктивностью в большей степени зависела от характера изменений содержания триглицеридов в крови (табл. 3). У таких животных в группе с отрицательной динамикой концентрации триглицеридов сервис-период был в 1,6 раза короче, чем в группе с положительной динамикой ($p < 0,05$). У коров с высокой молочной продуктивностью сервис-период в I группе также оказался в 1,5 раза короче, чем во II, хотя это снижение не было достоверным вследствие высокой вариабельности показателя. Кроме того, у таких животных удой за 100 сут лактации в I группе был выше по сравнению со II ($p < 0,05$), тогда как у коров со средней продуктивностью удой в I группе лишь слегка повышался.

3. Показатели воспроизводства и удой у коров голштинской породы с разной молочной продуктивностью в зависимости от изменения содержания триглицеридов в крови с конца 1-го до завершения 2-го мес лактации ($M \pm SEM$, $n = 33$)

Показатель	Молочная продуктивность			
	средняя		высокая	
	I группа ($n = 10$)	II группа ($n = 9$)	I группа ($n = 8$)	II группа ($n = 6$)
Сервис-период, сут	86±12 ^a	140±21 ^b	136±23	199±32
Удой за 100 сут лактации, кг	2452±115	2303±167	4342±155 ^c	3808±118 ^d

Примечание. За высокую и среднюю молочную продуктивность принимали показатели соответственно 10007±420 и 6336±160 кг за 305 сут лактации. Животных разделили на группы по динамике содержания триглицеридов в крови.

a, b, c, d Различия между группами статистически значимы соответственно при $p < 0,05$ и $p < 0,05$.

Корреляционный анализ выявил отрицательную связь между продолжительностью сервис-периода и содержанием триглицеридов в крови у коров с высокой молочной продуктивностью ($p < 0,05$) в конце 1-го мес лактации и положительную связь между этими показателями у коров со

средней ($p < 0,01$) и высокой продуктивностью ($p < 0,05$) в конце 2-го мес (табл. 4). У животных со средней продуктивностью через 2 мес после отела сервис-период был также положительно связан с концентрацией холестерина ($p < 0,01$), общего белка ($p < 0,05$) и глюкозы ($p < 0,05$) и отрицательно связан с активностью АсАТ ($p < 0,05$). Кроме того, в конце 1-го мес лактации продолжительность интервала от отела до плодотворного осеменения отрицательно коррелировала с коэффициентом де Ритиса ($p < 0,05$). Следует отметить, что сервис-период был ассоциирован именно с теми биохимическими показателями, которые взаимосвязаны с сывороточной концентрацией триглицеридов (только в случае общего белка коэффициент корреляции $r = 0,39$ недостоверен). В то же время у коров с высокой молочной продуктивностью не было обнаружено зависимости между сервис-периодом и содержанием холестерина или показателями белково-углеводного обмена, которые, в свою очередь, не коррелировали с концентрацией триглицеридов. Эти результаты указывают на то, что ассоциация сервис-периода с упомянутыми биохимическими показателями крови может быть вторична и определяться их взаимосвязью с содержанием триглицеридов, возникающей при воздействии общего регулятора (регуляторов) центрального происхождения, например одного или нескольких метаболитических гормонов (7, 8).

4. Коэффициенты корреляции (r) между продолжительностью сервис-периода, содержанием триглицеридов и биохимическими показателями крови в конце 1-го и 2-го мес лактации у коров голштинской породы с разной молочной продуктивностью

Пара сравниваемых показателей	Время после отела			
	животные с СП ($n = 19$)		животные с ВП ($n = 14$)	
	3-4 нед	7-8 нед	3-4 нед	7-8 нед
Сервис-период—содержание триглицеридов	0,25	0,60**	-0,56*	0,54*
Сервис-период—содержание холестерина	0,44	0,60**	0,42	0,12
Сервис-период—содержание общего белка	0,26	0,50*	-0,13	0,23
Сервис-период—содержание глюкозы	0,22	0,57*	0,18	-0,18
Сервис-период—активность АсАТ	-0,13	-0,53*	0,42	0,11
Сервис-период—АсАТ/АлАТ	-0,52*	-0,37	0,19	0,28
Содержание триглицеридов—содержание холестерина	-0,08	0,47*	-0,50	-0,19
Содержание триглицеридов— содержание глюкозы	0,39	0,53*	0,13	0,05
Содержание триглицеридов— активность АсАТ	-0,55*	-0,11	0,19	-0,19

Примечание. За среднюю (СП) и высокую (ВП) молочную продуктивность принимали показатели соответственно 6336 ± 160 и 10007 ± 420 кг за 305 сут лактации. АсАТ — аспаратаминотрансфераза, АлАТ — аланинаминотрансфераза.

*, ** Достоверность значений r (соответственно $p < 0,05$ и $p < 0,01$).

После отела содержание триглицеридов в крови у коров определяется двумя основными факторами: интенсивной аккумуляцией печенью во время негативного энергетического баланса (21) и повышенной потребностью молочной железы в синтезе молочного жира (22). Триглицериды попадают в кровь в составе липопротеинов очень низкой плотности, для образования которых необходим холестерин (10). В нашем исследовании концентрация общего холестерина повышалась к концу 2-го мес лактации у всех обследованных коров, но содержание триглицеридов при этом увеличивалось только у животных из II группы. Кроме того, это содержание в большей степени зависело от синтеза холестерина у животных со средней продуктивностью, что подтверждается наличием у них взаимосвязи между обоими показателями липидного обмена ($p < 0,05$) в конце 2-го мес лактации (см. табл. 4). Уменьшение концентрации триглицеридов было особенно выражено у особей из I группы с высокой молочной продуктивностью, у которых удой за первые 100 сут лактации повышался более значи-

тельно, чем у коров со средней продуктивностью. Очевидно, у этих животных снижение содержания триглицеридов в крови зависело в первую очередь от интенсивности их использования молочной железой для синтеза молочного жира. Сывороточная концентрация триглицеридов в целом также была более низкой у животных с высокой молочной продуктивностью. Отсутствие корреляции между удоем за 100 сут лактации и содержанием триглицеридов в крови может свидетельствовать о нелинейной зависимости между этими показателями.

Высокий генетический потенциал молочной продуктивности, основанный на лактационной доминанте, рассматривается как фактор негативного влияния на репродуктивную способность коров (1, 3). Вместе с тем результаты настоящего исследования показывают, что в стаде со сходной молочной продуктивностью у некоторых особей повышенный удой может приводить к снижению содержания триглицеридов в крови, которое, вероятно, связано с сокращением сервис-периода.

Продолжительность сервис-периода коров в значительной степени определяется частотой ранней эмбриональной смертности, что, в свою очередь, зависит от качества ооцитов и эмбрионов (23, 24). Изменения концентрации различных метаболитов в крови обуславливают соответствующие изменения в жидкости фолликулов и репродуктивного тракта (25). То есть метаболический статус матери влияет на микроокружение, в котором развиваются ооциты и эмбрионы. Это особенно важно в случае ооцитов, поскольку рост окружающих их фолликулов от примордиальной до преовуляторной стадии занимает около 180 сут (26).

Показано, что у коров содержание триглицеридов в сыворотке крови коррелирует с их содержанием в жидкости доминантных фолликулов (27). Хотя триглицериды обеспечивают важный источник энергии, их избыточная аккумуляция ооцитами и эмбрионами ухудшает функцию митохондрий и повышает риск оксидативного стресса (10). Следовательно, снижение содержания триглицеридов в крови к концу 2-го мес лактации у животных I группы могло быть связано с сохранением качества ооцитов (и/или эмбрионов), что приводило бы к уменьшению эмбриональных потерь и сокращению сервис-периода. В то же время увеличение концентрации общего холестерина в этот период лактации не было сопряжено с усилением репродуктивной функции.

Ранее мы показали, что продолжительность сервис-периода у коров черно-пестрой породы связана с показателями белково-углеводного обмена в конце периода раздоя (28). Поэтому в настоящем исследовании были определены эти биохимические показатели крови и проведен анализ их ассоциации с сервис-периодом и содержанием триглицеридов в крови голштинских коров. Оказалось, что концентрация триглицеридов — не единственный фактор, связанный с продолжительностью сервис-периода у этих животных. Во-первых, у коров из I группы независимо от молочной продуктивности в конце 2-го мес лактации отмечали возрастание активности АлАТ в крови, сходное с выявленным на 70-90-е сут после отела у черно-пестрых коров с более коротким сервис-периодом (28). Во-вторых, продолжительность сервис-периода у животных со средней продуктивностью была ассоциирована с содержанием общего белка и глюкозы, а также с активностью АсАТ и коэффициентом де Ритиса, хотя наличие таких ассоциаций с показателями белково-углеводного обмена зависело от корреляции последних с концентрацией триглицеридов.

В настоящем исследовании продолжительность сервис-периода у животных с высокой молочной продуктивностью была намного больше,

чем у животных со средней продуктивностью, несмотря на более низкое содержание триглицеридов в крови. Этот результат согласуется с концепцией о детерминирующей роли генотипа коров в реализации репродуктивной функции (29). Вместе с тем дополнительное снижение концентрации триглицеридов у особей с высокой продуктивностью, очевидно, позитивно влияет на их репродуктивную способность и приводит к сокращению сервис-периода, характерного для данного генотипа.

Таким образом, динамика липидного обмена в середине 1-го триестра лактации у коров голштинской породы характеризовалась ростом содержания общего холестерина в крови всех животных, тогда как содержание триглицеридов изменялось у разных особей неодинаково. Снижение концентрации триглицеридов с конца 1-го до окончания 2-го мес лактации, очевидно, обуславливает улучшение репродуктивной функции и приводит к сокращению продолжительности сервис-периода независимо от молочной продуктивности животных. При этом у коров с высокой молочной продуктивностью такое снижение более выражено и может быть связано с повышением удоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roche J.R., Burke C.R., Crookenden M.A., Heiser A., Loor J.L., Meier S., Mitchell M.D., Phyn C.V.C., Turner S.A. Fertility and the transition dairy cow. *Reprod. Fert. Develop.*, 2017, 30(1): 85-100 (doi: 10.1071/RD17412).
2. Василенко Т.Ф., Русаков Р.В. Современные подходы к оптимизации репродуктивных процессов у коров. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 2018, 1: 5-18 (doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.1.5-18).
3. Bisinotto R.S., Greco L.F., Ribeiro E.S., Martinez N., Lima F.S., Staples C.R., Thatcher W.W., Santos J.E.P. Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows. *Anim. Reprod.*, 2012, 9(3): 260-272.
4. Maciel G.M., Poulsen N.A., Larsen M.K., Kidmose U., Gaillard C., Sehested J., Larsen L.B. Good sensory quality and cheesemaking properties in milk from Holstein cows managed for an 18-month calving interval. *J. Dairy Sci.*, 2016, 99(11): 8524-8536 (doi: 10.3168/jds.2016-10958).
5. Lehmann J.O., Fadel J.G., Mogensen L., Kristensen T., Gaillard C., Kebreab E. Effect of calving interval and parity on milk yield per feeding day in Danish commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 2016, 99(1): 621-633 (doi: 10.3168/jds.2015-9583).
6. Hare E., Norman H.D., Wright J.R. Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States. *J. Dairy Sci.*, 2006, 89(9): 3713-3720 (doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72412-2).
7. Wathes D.C. Mechanisms linking metabolic status and disease with reproductive outcome in the dairy cow. *Reprod. Domest. Anim.*, 2012, 47(Suppl. 4): 304-312 (doi: 10.1111/j.1439-0531.2012.02090.x).
8. Sartori R., Gimenes L.U., Monteiro P.L. Jr., Melo L.F., Baruselli P.S., Bastos M.R. Metabolic and endocrine differences between *Bos taurus* and *Bos indicus* females that impact the interaction of nutrition with reproduction. *Theriogenology*, 2016, 86(1): 32-40 (doi: 10.1016/j.theriogenology.2016.04.016).
9. Block S.S., Butler W.R., Ehrhardt R.A., Bell A.W., Van Amburgh M.E., Boisclair Y.R. Decreased concentration of plasma leptin in periparturient dairy cows is caused by negative energy balance. *J. Endocrinol.*, 2001, 171(2): 339-348.
10. Wathes D.C., Clempson A.M., Pollott G.E. Associations between lipid metabolism and fertility in the dairy cow. *Reprod. Fert. Develop.*, 2012, 25(1): 48-61 (doi: 10.1071/RD12272).
11. Kuhla B., Metges C.C., Hammon H.M. Endogenous and dietary lipids influencing feed intake and energy metabolism of periparturient dairy cows. *Domest. Anim. Endocrin.*, 2016, 56(Suppl): S2-S10 (doi: 10.1016/j.domaniend.2015.12.002).
12. Lacasse P., Vanacker N., Ollier S., Ster C. Innovative dairy cow management to improve resistance to metabolic and infectious diseases during the transition period. *Res. Vet. Sci.*, 2018, 116: 40-46 (doi: 10.1016/j.rvsc.2017.06.020).
13. Shin E.K., Jeong J.K., Choi I.S., Kang H.G., Hur T.Y., Jung Y.H., Kim I.H. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows. *Theriogenology*, 2015, 84(2): 252-260 (doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.03.014).
14. Mellado M., Dávila A., Gaytán L., Macías-Cruz U., Avendaco-Reyes L., García E. Risk factors for clinical ketosis and association with milk production and reproduction variables in dairy cows in a hot environment. *Trop. Anim. Health Pro.*, 2018, 50(7): 1611-1616 (doi: 10.1007/s11250-018-1602-y).

15. Clark C.E.F., Fulkerson W.J., Nandra K.S., Barchia I., Macmillan K.L. The use of indicators to assess the degree of mobilisation of body reserves in dairy cows in early lactation on a pasture-based diet. *Livest. Prod. Sci.*, 2005, 94(3): 199–211 (doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.038).
16. Folnožić I., Turk R., Đuričić D., Vince S., Pleadin J., Flegar-Meštrić Z., Valpotić H., Dobranić T., Gračner D., Samardžija M. Influence of body condition on serum metabolic indicators of lipid mobilization and oxidative stress in dairy cows during the transition period. *Reprod. Domest. Anim.*, 2015, 50(6): 910–917 (doi: 10.1111/rda.12608).
17. Kessler E.C., Gross J.J., Bruckmaier R.M., Albrecht C. Cholesterol metabolism, transport, and hepatic regulation in dairy cows during transition and early lactation. *J. Dairy Sci.*, 2014, 97(9): 5481–5490 (doi: 10.3168/jds.2014-7926).
18. Dhami A.J., Nakrani B.B., Hadiya K.K., Patel J.A., Shah R.G. Comparative efficacy of different estrus synchronization protocols on estrus induction response, fertility and plasma progesterone and biochemical profile in crossbred anestrous cows. *Veterinary World*, 2015, 8(11): 1310–1316 (doi: 10.14202/vetworld.2015.1310-1316).
19. Westwood C.T., Lean I.J., Garvin J.K. Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: a multivariate description. *J. Dairy Sci.*, 2002, 85(12): 3225–3237 (doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74411-1).
20. Mityashova O.S., Gusev I.V., Lebedeva I.Yu. Metabolism and reproductive function during the postpartum period in first-calf cows when introducing the placenta extract. *Agricultural Biology*, 2017, 52(2): 323–330 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.2.323eng).
21. Bremmer D.R., Bertics S.J., Besong S.A., Grummer R.R. Changes in hepatic microsomal triglyceride transfer protein and triglyceride in periparturient dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 2000, 83(10): 2252–2260 (doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75109-5).
22. Bernard L., Leroux C., Chilliard Y. Expression and nutritional regulation of lipogenic genes in the ruminant lactating mammary gland. In: *Bioactive components of milk. Advances in experimental medicine and biology* /Z. Bösze (ed.). Springer, New York, NY, 2008, V. 606: 67–108 (doi: 10.1007/978-0-387-74087-4_2).
23. Wiltbank M.C., Baez G.M., Garcia-Guerra A., Toledo M.Z., Monteiro P.L., Melo L.F., Ochoa J.C., Santos J.E., Sartori R. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 2016, 86(1): 239–253 (doi: 10.1016/j.theriogenology.2016.04.037).
24. Нежданов А.Г., Михалёв В.И., Лозовая Е.Г., Лободин К.А., Сафонов В.А. Патологические аспекты эмбриональной смертности у молочных коров. *Сельскохозяйственная биология*, 2017, 52(2): 338–348 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.2.338rus).
25. Leroy J.L.M.R., Valckx S.D.M., Jordaens L., De Bie J., Desmet K.L.J., Van Hoeck V., Britt J.H., Marei W.F., Bols P.E.J. Nutrition and maternal metabolic health in relation to oocyte and embryo quality: critical views on what we learned from the dairy cow model. *Reprod. Fertil. Dev.*, 2015, 27(4): 693–703 (doi: 10.1071/RD14363).
26. Lussier J.G., Matton P., Dufour J.J. Growth rates of follicles in the ovary of the cow. *J. Reprod. Fertil.*, 1987, 81(2): 301–307 (doi: 10.1530/jrf.0.0810301).
27. Leroy J.L.M.R., Vanholder T., Delanghe J.R., Opsomer G., Van Soom A., Bols P.E.J., de Kruif A. Metabolite and ionic composition of follicular fluid from different-sized follicles and their relationship to serum concentrations in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 2004, 80(3–4): 201–211 (doi: 10.1016/S0378-4320(03)00173-8).
28. Лейбова В.Б., Шапиев И.Ш., Лебедева И.Ю. Метаболическое состояние в конце периода раздоя у высокопродуктивных молочных коров с разной воспроизводительной способностью. *Сельскохозяйственная биология*, 2011, 6: 103–109.
29. Leroy J.L.M.R., Van Soom A., Opsomer G., Bols P.E.J. The consequences of metabolic changes in high-yielding dairy cows on oocyte and embryo quality. *Animal*, 2008, 2(8): 1120–1127 (doi: 10.1017/S1751731108002383).

¹ФГБНУ Федеральный научный центр

животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60,
e-mail: irledv@mail.ru ✉, alsolomahin@yandex.ru, mityashova_o@mail.ru,
Brukw@bk.ru;

²Всероссийский НИИ генетики и разведения

сельскохозяйственных животных, филиал ФГБНУ Феде-
ральный научный центр животноводства —
ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
196601 Россия, г. Санкт-Петербург—Пушкин, Московское ш., 55А,
e-mail: leib1406@yandex.ru

Поступила в редакцию

17 сентября 2018 года

OF HOLSTEIN COWS WITH DIFFERENT MILK PRODUCTIVITIES IN CONNECTION WITH THE DYNAMICS OF LIPID METABOLISM DURING THE POSTPARTUM PERIOD

I.Yu. Lebedeva¹, V.B. Leybova², A.A. Solomakhin¹, O.S. Mityashova¹, R.A. Rykov¹

¹Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail irldev@mail.ru (✉ corresponding author), leib1406@yandex.ru, alsolomahin@yandex.ru, mityashova_o@mail.ru, Brukw@bk.ru;

²All-Russian Research Institute for Farm Animal Genetics and Breeding — branch of Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, 55A, Moskovskoe sh., St. Petersburg—Pushkin, 196625 Russia, e-mail leib1406@yandex.ru

ORCID:

Lebedeva I.Yu. orcid.org/0000-0002-7815-7900

Mityashova O.S. orcid.org/0000-0002-0401-5088

Leybova V.B. orcid.org/0000-0002-7017-9988

Rykov R.A. orcid.org/0000-0003-0228-8901

Solomakhin A.A. orcid.org/0000-0002-3406-0066

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

This work is performed within the frame of State agreement № 0600-2018-0016 (reg. CITiS № AAAA-A18-118021990006-9)

Received September 17, 2018

doi: 10.15389/agrobiol.2018.6.1180eng

Abstract

In the early period of lactation, the energy needs of high-yielding dairy cows sharply increase, which leads to a negative energy balance. For its compensation, the organism spends its internal resources, mainly lipid reserves. Normalization of cholesterol production at the beginning of the postpartum period is obviously associated with an increase in the animal reproductive ability. However, it remains unclear what role in the regulation of the reproductive function can play a change in the blood level of triglycerides. Here, we compared for the first time the duration of the calving to conception interval in Holstein cows with medium (MP) and high milk productivity (HP) depending on the increase or decrease in the blood concentration of triglycerides from the end of month 1 to the end of month 2 of lactation. Furthermore, we found a connection between the calving to conception interval, the serum content of triglycerides, and some other indexes of metabolism. Cows (*Bos taurus taurus*) of the Holstein breed of the 1st calving with milk yield of 6336 ± 160 kg per 305-day lactation ($n = 19$; EKH Klyonovo-Chegodaevo, settlement Klyonovskoe, Moscow) and of the 2nd-3rd calving with milk yield of 10007 ± 420 kg per 305-day lactation ($n = 14$; PZ Prinevskoe, Vsevolozhsk Region, Leningrad Province) were used in the experiments. In 3-4 and 7-8 weeks after calving, the blood samples were collected to assay the concentrations of triglycerides, total cholesterol, total protein and its fractions, urea, creatinine, glucose as well as the activity of aspartate aminotransferase (AST, EC 2.6.1.1) and alanine aminotransferase (ALT, EC 2.6.1.2). All cows were divided into 2 groups. Group I consisted of animals in which the blood level of triglycerides decreased by the end of the 2nd month of lactation (MP: $n = 10$, HP: $n = 8$). Group II consisted of animals in which no such decrease was observed (MP: $n = 9$, HP: $n = 6$). Twelve months after calving, the average values for the calving to conception interval and milk yield per 100-day lactation were determined in all groups. In cows with MP between the 3rd-4th and 7th-8th weeks of lactation, the blood triglycerides concentration decreased 1.2 times ($p < 0.001$) in group I and increased 1.1 times ($p < 0.01$) in group II. The total blood cholesterol content grew significantly (1.2-1.3 times) in animals of both groups. Meanwhile, the calving to conception interval was 1.6 times shorter in group I than in group II (86 ± 12 vs. 140 ± 21 days, $p < 0.05$). In cows with HP, by the end of the 2nd month of lactation, the concentration of triglycerides decreased 1.6 times ($p < 0.01$) in group I and increased 2 times ($p < 0.001$) in group II. The content of total cholesterol rose 1.2-1.5 times in the blood of animals of both groups. The calving to conception interval in group I was 1.5 times shorter than in group II, but this reduction was not reliable. In addition, in these animals, the milk yield per 100-day lactation in group I was 534 kg higher than in group II ($p < 0.05$). Correlation analysis revealed a negative relationship between the duration of the calving to conception interval and the triglyceride content in the blood of cows with HP at the end of the 1st month of lactation ($r = 0.56$ with $p < 0.05$). At the end of the month 2, a positive relationship between these indicators in cows with MP and HP was observed ($r = 0.60$ with $p < 0.01$ and $r = 0.56$ with $p < 0.05$, respectively). In animals with MP, the duration of the calving to conception interval was also associated with biochemical parameters, which correlated with serum triglyceride concentrations. Thus, in cows of the Holstein breed, the dynamics of lipid metabolism in the middle of the first trimester of lactation was characterized by an increase in the total cholesterol content, whereas the blood level of triglycerides varied in different individuals differently. The decrease in the concentration of triglycerides from the end of month 1 to the end of month 2 of lactation, obviously, causes improving the reproductive function and leads to a reduction in the duration of the calving to conception interval, regardless of the milk productivity of animals. Concurrently, in animals with the high milk productivity, such a decrease is more pronounced and may be related to an increase in the milk yield.

Keywords: Holstein breed, cows, triglycerides, metabolism, reproductive ability, milk productivity.