

УДК 636.2.034:612
DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2023.3.37-57

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МОЛОКООТДАЧИ И ВЫВЕДЕНИЯ
МОЛОКА У КОРОВ: МЕТОДЫ НЕИНВАЗИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ,
ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ С УДОЕМ (обзор)**

Мещеряков В.П.

*Калужский филиал РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Калуга, Российская Федерация*

Синтез основных составляющих секрета молочной железы осуществляется не во всём объёме органа, как, например, в скелетных мышцах, а в монослое клеток секреторного эпителия, тогда как весь остальной объём вымени предназначен для сбора и транспортировки готового продукта, имеющего физическую форму жидкости. В ходе этого процесса в молочной железе и, в целом, в организме животного происходит серия последовательных изменений, при этом этап молокоотдачи формируется по законам гидравлики, а процессы выделения молока в основном характеризуется закономерностями гидродинамики. Существенной характеристикой всего комплекса происходящих процессов является наличие межсистемных регуляторных взаимосвязей. Цель обзора – систематизация литературных и собственных данных по методам измерений, оценке параметров и анализу взаимосвязей при комплексном изучении функциональной системы молокоотдачи и выведения молока у коров. Основные разделы обзора: изучение процессов молокоотдачи (оценка сократительной активности альвеол и кровоснабжения вымени, регистрация изменений внутривыменного давления, определение уровня окситоцина в крови), изучение процессов выведения молока (изучение активности соска и его сфинктера, изучение взаимосвязей между удоем и параметрами молоковыведения), комплексная оценка функциональной активности системы молокоотдачи и выведения молока. Заключение, что комплексное исследование этой функциональной системы может способствовать выработке практических рекомендаций для высокопродуктивных коров, в том числе по совершенствованию технологий машинного и роботизированного доения и профилактике заболеваний вымени.

Ключевые слова: дойные коровы, молокоотдача, внутривыменное давление, выведение молока, кровоснабжение, оценки параметров, взаимосвязи с удоем.

Проблемы биолог ии продуктивных животных, 2023, 3: 37-57.

Введение

В деятельности молочной железы выделяют секреторную и двигательную (моторную) функции. В ходе секреторной деятельности в вымени образуется молоко. Секреторный процесс осуществляется непрерывно. Уникальность процесса формирования секрета молочных желез – сырого молока, как исходного продукта для молочной промышленности, состоит в том, что синтез основных составляющих этого секрета (лактоза, казеин, жировые шарики) осуществляется не во всём объёме органа, как, например, в скелетных мышцах, а в монослое клеток секреторного эпителия, тогда как весь остальной объём вымени предназначен для сбора и транспортировки готового продукта, имеющего физическую форму жидкости.

Секретируемое молоко накапливается в ёмкостной системе вымени, которая представляет весь объём полостей молочной железы, начиная от альвеол и заканчивая цистернами сосков. Молоко, находящееся в вымени коровы перед доением, в зависимости от его способности к удалению, разделяют на цистернальную и альвеолярную фракции.

Цистернальная фракция молока находится в цистернах вымени и сосков, а также в крупных молочных ходах. Для извлечения цистернального молока необходимо преодолеть сопротивление сфинктера соска. Количество цистернального молока определяют путём катетеризации соскового канала. Альвеолярная фракция молока содержится в альвеолах, мелких и средних молочных ходах. Получить данную фракцию можно только после реализации рефлекса молокоотдачи. Альвеолярное молоко можно получить путём машинного выдаивания после предварительной инъекции окситоцина.

Выводится образующийся секрет из молочной железы периодически, при специфических воздействиях – сосании или доении. При выведении молока реализуется двигательная функция вымени. Для характеристики рефлекса молокоотдачи используют термины: молокоотдача и молоковыведение.

Акт перемещения молока из альвеол в нижележащий отдел вымени под действием сокращающегося миоэпителия называется молокоотдачей. Современная теория рефлекса молокоотдачи была сформулирована в 40-х годах прошлого века. Согласно данной теории стимулы доения вызывают рефлекторное освобождение гормона задней доли гипофиза – окситоцина, который с током крови достигает молочной железы, вызывает сокращение альвеол и перемещение молока из альвеолярного отдела железы в цистернальный; т.е. альвеолярная молокоотдача осуществляется под воздействием окситоцина.

Молоковыведение представляет собой процесс удаления молока из вымени при доении или сосании. Процесс молоковыведения начинается при надевании первого или последнего доильного стакана и заканчивается в момент их снятия. В регуляции выведения цистернального молока и молоковыведения через систему молочных протоков и сосок принимает участие симпатическая нервная система путём влияния катехоламинов на адренорецепторы вымени.

При рассмотрении процессов молокоотдачи и молоковыведения с биофизических (биоинженерных) позиций, можно констатировать, что первая фаза молокоотдачи формируется по законам гидравлики (сдвиги соотношения объёмов и гидравлического давления), а фаза выделения молока в основном характеризуется закономерностями гидродинамики (скорость движения, сопротивление движению в трубах, формирование потоков во времени).

В процессах молокоотдачи и молоковыведения в молочной железе и, в целом, в организме животного происходит серия последовательных изменений. Раздражение рецепторов сосков вымени активизирует импульсную активность в чувствительных волокнах, иннервирующих сосок. Под влиянием нервных импульсов из гипофиза в кровь освобождается окситоцин, вызывающий сокращение миоэпителиальных клеток. Одновременно с сокращением альвеол укорачиваются протоки, их диаметр увеличивается, и альвеолярное молоко под давлением перемещается в более крупные ходы и в цистернальный отдел молочной железы. Альвеолярная молокоотдача вызывает быстрое увеличение давления в молочной железе и расширение объёма цистернального пространства. Альвеолярная молокоотдача позволяет вывести молоко из вымени с помощью доильного аппарата. При доении важной характеристикой процесса является динамика молокоотдачи.

Существенной характеристикой всего комплекса происходящих в вымени процессов является наличие межсистемных взаимосвязей. В процессе молокоотдачи, с одной стороны, увеличивается кровоснабжение вымени, с другой – изменяется функциональная активность сосков; доение вызывает повышение температуры молочной железы. В целом, весь комплекс происходящих в вымени процессов следует рассматривать в качестве одной функциональной системы, т.е. учитывать наличие взаимосвязей между составляющими подсистемами.

Практическое значение углублённого комплексного исследования данной функциональной системы может состоять в выработке рекомендаций, в том числе по машинному и роботизированному доению и профилактике заболеваний вымени.

Цель обзора – систематизация литературных и собственных данных по методам измерений, оценке параметров и анализу взаимосвязей при комплексном изучении функциональной системы молокоотдачи и выведения молока у коров.

Изучение процессов молокоотдачи

Оценка сократительной активности альвеол и молочных протоков. Применение электрофизиологического метода (Толкунов, 1993; Марков, 2000) позволило проводить исследования молочной железы на альвеолярном уровне. Проводилась регистрация мембранного потенциала секреторных клеток и оценивалась динамика трансэпителиальной разности потенциалов (ТЭРП) альвеол в молочной железе у коз (Толкунов, 1993; Марков, 2000). Установлено, что ручное доение вызывает возрастание уровня трансэпителиальной разности потенциалов в молочной железе коз (Толкунов, 1993; Марков, 2000). Показано, что при действии окситоцина изменения мембранного потенциала секреторных клеток и трансэпителиальной разности потенциалов имели дозозависимый характер. При этом выделены быстрая фаза нарастания реакции ТЭРП и медленная фаза ее спада (Толкунов, 1993).

Были разработаны методы витальной микроскопии, которые позволяли наблюдать сократительные реакции альвеол *in vivo* (Попов, 1989; Скопичев, 1994). В процессе регистрации сократительной активности проводилась видеозапись с последующей компьютерной обработкой результатов исследований (Балакина и др., 2008). В условиях прижизненной микроскопии установлено, что действие окситоцина приводит к характерному изменению объема и формы альвеол (Скопичев, 1994). С использованием электромеханического метода у лабораторных мышей исследовано смещение альвеолы в процессе сжатия (Марков, 2000). Установлено, что сократительная реакция миоэпителиальных клеток характеризуется быстрой фазой сокращения и медленной фазой расслабления (Марков, 2000).

При молокоотдаче не только сокращаются миоэпителиальные клетки и сжимаются альвеолы, но и под влиянием поступающего молока расширяются мелкие и средние молочные ходы и заполняется цистернальная полость вымени. Указанные изменения можно наблюдать с использованием ультразвукового исследования. При УЗИ сканировании молочной железы имеется возможность визуализации молочных ходов и цистернального пространства, фиксирования размеров с последующей компьютерной обработкой полученных результатов. При ультразвуковом исследовании молочной железы жвачных применялись два метода. В первом случае для сканирования молочную железу помещают в воду (Bruckmaier, Blum, 1992; Bruckmaier et al., 1994). Для сканирования вымени вторым методом применяются специальные датчики и контактный гель (Ayadi et al., 2003; Saja et al., 2004).

У лактирующих коров с помощью УЗИ определен объем цистернального отдела (Rovai et al., 2007) и показана его взаимосвязь с количеством молока цистернальной фракции и возрастом ($r=0,80$; Bruckmaier et al., 1994). С помощью другой разновидности УЗИ (Ayadi et al., 2003) установлено, что у коров по мере удлинения интервала между доениями объем цистернального отдела и количество цистернального молока увеличивались. После инъекции окситоцина у коров отмечено увеличение объема цистернального отдела (Bruckmaier, Blum, 1992; Saja et al., 2004). Инъекции α -агониста фенилэфрина вызывали сокращение объема цистернального отдела у коров, коз и овец на 38% (Bruckmaier, Blum, 1992).

В ряде работ (Ramsay et al., 2004, 2006; Prime et al., 2009; Geddes, 2009) проведено ультразвуковое исследование молочной железы у женщин. Показано, что молокоотдача вызывает увеличение диаметра молочных протоков с 1,63 до 2,75 мм (Ramsay et al., 2004), а скорость выведения молока положительно коррелирует с диаметром молочных протоков (Ramsay et al., 2006). Предложено оценивать характер молокоотдачи по увеличению диаметра молочных протоков (Ramsay et al., 2004).

Изучение динамики кровоснабжения молочной железы. Было показано, что доение вызывает повышение температуры молочной железы у коз и коров (Владимирова, 1955). Увеличение температуры вымени в процессе молокоотдачи свидетельствует об усилении его кровоснабжения. Метод термометрии молочной железы у жвачных был использован для оценки динамики выведения молока при использовании катетеров соска (Владимирова, 1958, 1963).

Была разработана методика тепловизионной оценки эффективности молоковыведения у коров (Макаровская, 2004; Макаровская и др., 2005; Фризен, 2005; Цвяк, 2007; Карташов, Макаровская, 2008; Карташов, Цвяк, 2010). В качестве оценочных показателей тепловизионного метода использовались разница между средней температурой вымени до доения и его температурой на второй минуте доения (Макаровская, 2004; Фризен, 2005), а также разница максимальных температур вымени перед надеванием доильных стаканов и после доения (Карташов, Цвяк, 2010).

Установлено, что у коров момент резкого возрастания объёмной скорости кровотока в вымени соответствует началу сокращения миоэпителия и сжатия альвеол (Мещеряков, 2013), а между параметрами молоковыведения и кровоснабжением вымени установлена тесная взаимосвязь (Мещеряков, Шевелёв, 2010). Показано, что динамика кровоснабжения вымени и интенсивности молоковыведения в процессе доения носят двухфазный характер: в первую фазу интенсивность обоих процессов быстро возрастает, во вторую – медленно снижается (Шевелёв, Мещеряков, 2008; Мещеряков и др., 2015). Указывается, что двухфазное изменение кровоснабжения вымени в процессе доения является следствием изменения тонуса кровеносных сосудов вымени вследствие деформации (сжатия и расширения) альвеол в процессе молокоотдачи (Мещеряков, 2013).

Выявление механизма сопряжённого изменения тонуса кровеносных сосудов вымени вследствие сжатия и расширения альвеол в ходе молокоотдачи позволило использовать показатели кровоснабжения вымени в качестве индикаторов изменения сократительной активности альвеолярного комплекса (Мещеряков, Черемуха, 2017).

Регистрация изменений внутривыменного давления. Накапливающееся в ёмкостной системе молоко создаёт определённое давление на структуры вымени; с помощью аппаратуры, регистрирующей давление, можно определять величину внутривыменного давления (ВВД) и его изменение под влиянием различных факторов. (Whittlestone, Phillips, 1953; Whittlestone, 1955; Witzell, Mc Donald, 1964, 1965). Изучение ВВД проводится с помощью катетера, введённого в цистернальную полость молочной железы.

По данным разных авторов, величина ВВД у коров перед началом доения составляет: 20-25 (Hammond, 1936), 12-22 (Witzell, Mc Donald, 1965), 15,8-22,5 (Graf, Lawson, 1967), 2,6-12 (Thompson et al., 1972), 19-25 (Gorewit, 1979) мм рт. ст.; 3,1 см рт. ст. (Thompson, Pike, 1973), 11 мм вод. ст. (Phillips, 1968). Установлено, что величина ВВД у коров зависит от количества молока в железе (Kitts et al., 1963). У белых мышей во все временные интервалы после кормления детёнышей величина давления в молочной железе не превышала 1 мм рт. ст. (Толкунов и др., 2000).

В процессе молокоотдачи альвеолярное молоко под влиянием сокращающегося миоэпителия перемещается в цистернальную ёмкость, вызывая значительное повышение давления. У коров установлено увеличение ВВД в ответ на преддоильную подготовку вымени (Kitts et al., 1963; Witzell, Mc Donald, 1964; Labussiere, Durand, 1970; Thompson, Pike, 1973; Gorewit, 1979) и доение (Hammond, 1936; Kitts et al., 1963; Graf, Lawson, 1967; Bruckmaier, Blum, 1996).

Установлено увеличение давления в молочной железе в ответ на введение окситоцина у крыс (Lau, Hennig, 1987), коз (Alekseev et al., 1992; Peaker et al., 1995;) и коров (Labussiere, Durand, 1970; Thompson et al., 1972; Thompson, Pike, 1973). При нанесении окситоцина на ткани молочной железы мышей сократительная реакция миоэпителиальных клеток зависела от

продолжительности интервала между кормлениями. При его увеличении возрастали амплитуда и длительность сократительной реакции (Толкунов и др., 2000).

По изменению ВВД можно оценивать характер осуществления рефлекса молокоотдачи. В частности, по продолжительности периода от начала стимуляции вымени до момента повышения ВВД определяется величина латентного периода молокоотдачи. Угол подъёма кривой давления и величина максимального ВВД, продолжительность периода от начала стимуляции до достижения максимального ВВД характеризуют интенсивность поступления альвеолярного молока в цистернальный отдел вымени (Тверской и др., 1993).

Для характеристики интенсивности молокоотдачи у коров проводилась регистрация следующих показателей ВВД: давление перед началом стимуляции, максимальное давление в ответ на стимуляцию, продолжительность периодов до начала повышения давления и достижения его максимального значения (Macuhova et al., 1992, Tancin, Bruckmaier, 2004).

Определение уровня окситоцина в крови. Молокоотдача осуществляется в результате воздействия окситоцина на миоэпителиальные клетки, окружающие альвеолы, поэтому определение уровня окситоцина в крови в процессе молокоотдачи является одним из важных методов оценки интенсивности молокоотдачи.

В 60-х годах прошлого века была предложена методика определения активности окситоцина, основанная на биологическом тестировании (биометод: Van Dongen, Hays, 1966). С помощью данного метода было показано, что сосание и доение вызывают увеличение концентрации окситоцина в крови у коров (Lawson, Graf, 1967; Cleverly, Folley, 1970; Momongan, Schmidt, 1970). С помощью биометода определена пороговая концентрация окситоцина в крови коров, необходимая для вызова молокоотдачи (Lawson, Graf, 1967). Недостатками биометода являются его низкая чувствительность и невозможность определения базальных концентраций гормона (Gorewit, 1979).

Радиоиммунный метод определения концентрации окситоцина решил многие проблемы, связанные с использованием биометода (Gorewit, 1979). С использованием радиоиммунного метода установлено, что у коров окситоцин достигает максимальной концентрации через две минуты после начала доения (Gorewit, 1979), а уровень окситоцина в крови положительно коррелирует с величиной удоя (Samuelsson et al., 1994). Ряд исследователей (Tancin et al., 2003; Macuhova et al., 2004) используют интегрированный показатель концентрации окситоцина, определяя площадь под кривой динамики окситоцина.

Величины концентрации окситоцина, полученные методом биологического тестирования (Lawson, Graf, 1967) и радиоиммунным методом (Mayer et al., 1984a; Mayer et al., 1984b; Bruckmaier, Blum, 1996; Weiss et al., 2003a) значительно варьируют.

Изучение процессов выведения молока

Изучение активности соска и его сфинктера. Методика катетеризации соска была впервые предложена для определения характера молокоотдачи у коз (Грачёв, 1964). Показано, что по продолжительности периода от начала стимуляции молочной железы до появления струи молока можно определить величину латентного периода молокоотдачи, а по количеству и составу получаемого молока можно судить о характере и степени проявления рефлекса молокоотдачи. Указанная методика была модифицирована для определения характера молокоотдачи у коров.

Оценку молоковыведения при катетеризации проводят как визуально, так и путём графической регистрации. Было показано, что при катетеризации цистернальная порция может содержать часть рефлекторной (альвеолярной) порции, так как выведение молока через катетер связано с раздражением рецепторов цистерны, которое может вызвать альвеолярную молокоотдачу (Грачёв, 1964), при этом автор указывал, что возможны ошибки при определении начала молокоотдачи.

Методика катетеризации соска была использована для изучения эффектов влияния эфферентной иннервации молочной железы и адреналина в ответ на торможение молокоотдачи (Дюсембин, 1958).

Процесс молоковыведения во многом зависит от свойств соска и его сфинктера (Delwiche et al., 1980; Грачев и др., 1984; Проничев, 1997; Naumann, Fahr, 2000; Inderwis et al., 2003; Weiss et al., 2004;). Регистрация моторики соска и его сфинктера позволяет оценивать интенсивность рефлекса молокоотдачи у жвачных (Боков, 1987; Боков, 1988; Peeters, De Bruycker, 1975; Vandeputte-Van Messom et al., 1984, 1985, 1987).

Для регистрации моторики соска и его сфинктера разработана конструкция двухполюсного электрода (Голиков, Кетиладзе, 1988), позволяющая получать электромиограмму сфинктера соска в процессе доения. Предложен количественный показатель тугодойности (КПТ), основанный на оценке состояния сфинктера соска (Карташов, 1982). По мнению автора, используя КПТ, можно классифицировать коров по тугодойности. Разработан способ оценки стрессоустойчивости коров по коэффициенту синхронности молокоотдачи у четвертей вымени (Макаровская, 2004).

В ряде исследований для оценки интенсивности молоковыведения у коров учитывалась продолжительность периода от начала доения до выведения первой порции молока (Любин, 1987; Любин и др., 1988; Сударев, 2008; Мещеряков и др., 2018). При постоянных параметрах доильного аппарата указанный показатель зависит, в основном, от тонуса сфинктера соска.

Продолжительность периода до начала молоковыведения регистрировалась у коз (Mottram et al., 1994), овец (Marie-Etancelin et al., 2006), коров (Барански, Димов, 1993; Rasmussen et al., 1992). Продолжительность исследуемого периода составила у коров: 4,5-5 с (Барански, Димов, 1993), 0,13-0,33 мин (Rasmussen et al., 1992), 7,2-17 с (Мещеряков и др., 2018), у коз - 12,1 с (Mottram et al., 1994), у овец 29 с (Marie-Etancelin et al., 2006).

Установлена тесная взаимосвязь латентного периода выведения первой порции молока с продолжительностью доения, максимальной интенсивностью молоковыведения и выдоенностью за первые две минуты доения (Мещеряков и др., 2018). Продолжительность латентного периода выведения первой порции молока из четвертой вымени используется для оценки индивидуальной интенсивности молокоотдачи у коров при доении на автоматической установке (Мещеряков и др., 2021).

Разработан электрофизиологический метод оценки интенсивности молокоотдачи, основанный на регистрации импульсной активности в чувствительных волокнах, иннервирующих сосок. С помощью электрофизиологического метода изучено влияние различных доильных аппаратов и режимов их работы на генерацию импульсов в рецепторах сосков у коз (Тверской и др., 1993).

При выдаивании коровы оцениваются динамика и параметры молоковыведения (Кокорина, 1986). Существуют визуальный (Вальдман, 1977) и автоматический (Whittlestone, Phillips, 1953) способы регистрации динамики молоковыведения. В ряде исследований (Кавешникова и др., 1981; Любин, 1987) для регистрации динамики молоковыведения у коров применялось устройство, позволяющее регистрировать на бумажной ленте выведение 100-граммовых порций молока. Были предложены автоматические устройства для измерения удоя за две минуты доения (Sharaby et al., 1977) и определения текущей скорости потока молока из соска в период наибольшей интенсивности молоковыведения (Williams, Mein, 1986). Разработаны методы для осуществления регистрации процесса молоковыведения из всего вымени и из каждой четверти (Göft, 1992b; Butler et al., 1990). Предложены методы определения величины выведения молока за цикл пульсации доильного аппарата и через сосковый канал (Проничев, 1997).

Измерение величины потока молока из каждой четверти вымени используется для оценки коров по пригодности вымени к машинному доению (Сударев, 2007), выявления

причин, снижающих скорость выведения молока из соска (Querengässer et al., 2002), и определения взаимосвязи между параметрами молоковыведения и предрасположенностью коров к заболеванию маститом (Köhler, Kaufmann, 2003). Для быстрого анализа динамики молоковыведения использована компьютерная программа (Göft, 1992a) и применён метод дифференциальной регистрации потока (Банев, Благоев, 1995; Банев и др., 1995; Tancin et al., 2006). Использование датчиков молока позволяет автоматизировать процесс доения коров (Кирсанов, Милешина, 2012; Лукманов и др., 2012).

По дифференциальной кривой молоковыведения можно судить об особенностях рефлекса молокоотдачи. Поэтому в настоящее время параметры молоковыведения являются наиболее распространёнными показателями для оценки интенсивности рефлекса молокоотдачи (Карташов, 1982; Кокорина, 1986; Любин, 1987; Naumann et al., 1998; Weiss, Dzidic, Bruckmaier, 2003b; Macuhova et al., 2004; Weiss, 2004). Для оценки молоковыведения предложено использовать более десяти параметров (Worstorff, Fischer, 1996). Были предложены некоторые расчётные показатели молоковыведения (Соловьев и др., 2005; Карташов, Цвяк, 2010; Доровских и др., 2012).

Характеризуя процесс доения, исследователи регистрировали продолжительность периодов машинного доения и додаивания, количество молока, полученного в указанные периоды, продолжительность доения, среднюю и максимальную интенсивность доения. Было предложено использовать для характеристики молоковыведения количество молока за первую и вторую минуты доения (Griffin, Dodd, 1962). Показано, что период достижения максимальной интенсивности молоковыведения у коров (2-я минута) не зависит от уровня продуктивности и стадии лактации (Димов, Барански, Александров, 1993).

Чаще всего используют три параметра молоковыведения: среднее и максимальное количество молока за первую и вторую минуты доения (интенсивность молоковыведения), продолжительность доения (Blake, Mc Daniel, 1978; Butler et al., 1990; Банев и др., 1995). Методы оценки продолжительности доения различны. Если началом доения считается надевание последнего доильного стакана, то окончание доения может зависеть от продолжительности периода додаивания. Ряд исследователей (Schmidt, Van Vleck, 1969; Tomaszewski et al., 1975; White, Vinson, 1975) включают машинное додаивание в период доения. Другие (Markos, Touchberry, 1970; Touchberry, Markos, 1970) продолжительность доения оценивают без учёта периода машинного додаивания. На роботизированных доильных установках продолжительность доения оценивают с момента надевания первого доильного стакана (Hogeveen et al., 2001).

Для оценки характера молоковыведения у коров принято выделять период машинного додаивания (Schmidt, Van Vleck, 1969; Tomaszewski et al., 1975; White, Vinson, 1975). Начинают додаивание при разной скорости молоковыведения. В работах (Tomaszewski et al., 1975; White, Vinson, 1975; Miller et al., 1976) предложено считать началом додаивания момент, когда скорость молоковыведения достигала 0,45 кг за 30 с. В других исследованиях началом машинного додаивания считали момент, когда скорость молоковыведения составляла 0,15 кг за 20 с (Markos, Touchberry, 1970; Touchberry, Markos, 1970), и 0,2 кг/мин (Macuhova et al., 2004a).

Максимальная интенсивность молоковыведения считается наиболее объективным показателем (Tancin et al., 2003; Sandrucci et al., 2007). Определяют данный показатель по максимальному количеству молока за одну минуту доения (Smith et al., 1974; Tomaszewski et al., 1975; White, Vinson, 1975). В ходе лактации максимальная интенсивность молоковыведения изменяется незначительно у коров (Bruckmaier et al., 1992) и коз (Mottram et al., 1994). У коров установлен высокий уровень корреляции между максимальной интенсивностью молоковыведения и количеством молока за вторую минуту доения (Griffin, Dodd, 1962; Schmidt, Van Vleck, 1969). Было предложено удой за вторую минуту доения использовать в качестве критерия максимальной интенсивности молоковыведения (Griffin, Dodd, 1962).

Для характеристики скорости доения использован показатель выдоенности за первые три минуты доения (Гарькавый, 1967; Кавешникова и др., 1981; Бородин и др., 1994). Для оценки особенностей доения у коз процесс молоковыведения был разделён на периоды: до активного молоковыведения, основной и заключительный (Mottram et al., 1994). У коров в процессе молоковыведения выделено три (Mein et al., 1973), четыре (Goft et al., 1994; Tancin et al., 2002) и пять фаз (Sandrucci et al., 2007).

При анализе кривых молоковыведения определяют продолжительность периодов увеличения и снижения интенсивности молоковыведения, длительность плато максимальной интенсивности у коров (Smith et al., 1974; Goft, 1990; Goft, 1992; Goft et al., 1994; Komiyu, Kawakami, 1996; Tancin et al., 2002; Weiss et al., 2004; Sandrucci et al., 2007) и овец (Maria-Etancelin et al., 2006). Показано, что коровы с короткой фазой снижения интенсивности молоковыведения имеют тенденцию к увеличению показателя максимальной интенсивности молоковыведения (Tancin et al., 2002).

Была изучена продолжительность фазы снижения интенсивности молоковыведения во взаимосвязи с характеристикой соска (Naumann, Fahr, 2000). Показано, что продолжительность фазы снижения интенсивности молоковыведения у коров зависит от их индивидуальных особенностей (Naumann et al., 1998). Установлено, что коровы с очень продолжительной фазой снижения интенсивности молоковыведения характеризуются повышенным количеством соматических клеток в молоке (Naumann et al., 1998). Однако другие исследователи (Tancin et al., 2002) не обнаружили взаимосвязи между указанными показателями. Отмечено увеличение продолжительности фазы снижения интенсивности молоковыведения у коров при возрастании удоя (Tancin et al., 2002). Высказано предположение (Wellnitz, Bruckmaier, 2001), что процесс молоковыведения у коров регулируется адренергической системой.

Оценка параметров молоковыведения позволила выделить коров с быстрой и медленной молокоотдачей (Бадертдинов, 2010), определить пригодность коров к интенсивной технологии доения по методу дойкограмм (Кокорина и др., 1991). Параметры молоковыведения использованы для оценки интенсивности торможения рефлекса молокоотдачи (Кокорина, Филиппова, 1979) и обоснования основных параметров доильных аппаратов (Кавешникова и др., 1980; Соловьев, Асманкин, 1995; Доровских и др., 2012, 2014; Исинтаев, 2012; Емельянов, 2014).

Характер динамики молоковыведения важен для моделирования молокоотдачи у коров (Бородин и др., 1994; Забродина, 1994; Юлдашев, 1996; Соловьев и др., 1998; Забродина, Таран, 2011). Коэффициент синхронности молоковыведения четвертей вымени предлагается использовать для оценки стрессоустойчивости коров (Макаровская и др., 2002).

Изучение взаимосвязей между величиной разового удоя и параметрами молоковыведения

Изучен уровень взаимосвязи между параметрами молоковыведения, определены коэффициенты корреляции между величиной разового удоя и показателями средней и максимальной интенсивности молоковыведения у коров (табл. 1).

Установлен слабый и средний уровень взаимосвязи между показателями разового удоя и средней интенсивности молоковыведения. Между показателями разового удоя и максимальной интенсивности молоковыведения выявлена в основном слабая связь. В работе (Inderwie et al., 2003) взаимосвязь между указанными показателями была среднего уровня.

Между величиной разового удоя и продолжительностью доения коэффициенты корреляции составляют: 0,36–0,44 (Баранский др., 1993); 0,39 (Банев и др., 1995); 0,34 (Touchberry, Markos, 1970); 0,37 (Miller et al., 1976); 0,28–0,47 (Göft et al., 1994); 0,61 (Naumann et al., 1998); 0,69 (Weiss et al., 2004); 0,47 (Sandrucci et al., 2007).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между удоем и средней/максимальной интенсивностью молоковыведения

Средняя интенсивность молоковыведения		Максимальная интенсивность молоковыведения	
г	источник	значение г	источник
		0,47	Банев и др., 1995
0,37	Барански и др., 1993	0,20-0,37	Göft et al., 1994
		0,57	Inderwies et al., 2003
0,59	Мещеряков и др., 2017	0,43	Naumann et al., 1998
0,56	Naumann, et al., 1998	0,33	Sandrucci et al., 2007
0,50	Rathore, 1976	0,41	Stallcup et al., 1963
0,42	Stallcup et al., 1963	0,37	Touchberry, Markos, 1970
0,57	Weiss et al., 2004	0,34	Weiss et al., 2004

В табл. 2 приведены коэффициенты корреляции между продолжительностью доения и показателями средней и максимальной интенсивности молоковыведения у коров.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между продолжительностью доения и средней/максимальной интенсивностью молоковыведения

Средняя интенсивность молоковыведения		Максимальная интенсивность молоковыведения	
г	источник	г	источник
-0,36	Банев и др., 1995	-0,29	Банев и др., 1995
-0,28 - -0,51	Göft et al., 1994	-0,25	Naumann et al., 1998
-0,24	Naumann et al., 1998	-0,53	Schmidt, Van Vleck, 1969
-0,63	Schmidt, Van Vleck, 1969	-0,81	Tomaszewski et al., 1975
-0,90	Tomaszewski et al., 1975	-0,33	Weiss et al., 2004
-0,43	Weiss et al., 2004		

Интенсивность молоковыведения (средняя и максимальная) отрицательно коррелирует с продолжительностью доения. Коэффициент корреляции между указанными величинами колебался от -0,24 (Naumann et al., 1998) до -0,90 (Tomaszewski et al., 1975).

Между величинами средней и максимальной интенсивности молоковыведения установлены следующие коэффициенты корреляции: 0,97 (Гарькавый, 1967); 0,89 (Мещеряков и др., 2017); 0,88 (Tomaszewski et al., 1975); 0,95 (Miller et al., 1976); 0,78-0,85 (Göft et al., 1994); 0,84 (Naumann et al., 1998); 0,84 (Weiss et al., 2004).

Комплексная оценка активности функциональной системы молокоотдачи и выведения молока

Каждый из рассмотренных методов оценки интенсивности молоковыведения характеризует определённое звено рефлекса молокоотдачи. Одновременная регистрация нескольких показателей позволяет проводить комплексную оценку процесса молокоотдачи.

Проведены исследования, в которых одновременно регистрировалось несколько параметров: интенсивность молоковыведения и внутривыменное давление (Graf, Lawson, 1967; Любин, Тверской, 1989), концентрация окситоцина и внутривыменное давление (Lawson, Graf, 1967; Gorewit, 1979; Mosdol et al., 1981; Bruckmaier, 1990), параметры молоковыведения и концентрация окситоцина (Кокорина, 1986), внутривыменное давление и объёмная скорость

кровотока в вымени (Gorewit et al., 1985), параметры молоковыведения и объёмная скорость кровоснабжения вымени (Мещеряков и др., 2017).

Была проведена одновременная регистрация динамики молоковыведения, внутривыменного давления и концентрации окситоцина у коров (Bruckmaier, Blum, 1996; Bruckmaier, Hilger, 2001), молоковыведения, внутривыменного давления и объёмной скорости кровотока в вымени коров (Gorewit et al., 1989).

При доении на роботизированных установках у коров проводилась одновременная регистрация молоковыведения и определение концентрации окситоцина в крови (Macuhova et al., 2003, 2004a), а также запись внутривыменного давления и концентрации окситоцина (Macuhova et al., 2004a).

У коров в процессе молокоотдачи установлена тесная взаимосвязь между величиной внутривыменного давления и количеством полученного молока ($r=0,67-0,88$; Graf, Lawson, 1967), а также между величиной внутривыменного давления и концентрацией окситоцина в крови (Lawson, Graf, 1967; Gorewit, 1979) и коз (Mosdol et al., 1981). У коров в процессе доения не обнаружена корреляция между максимальной интенсивностью молоковыведения и приростом внутривыменного давления (Bruckmaier et al., 1992). Высказано предположение о том, что уровень внутривыменного давления у коров определяет интенсивность молоковыведения, главным образом, в начальный период доения (Bruckmaier, Blum, 1996).

В работе, выполненной на молочной железе у женщин, показано согласованное изменение скорости молоковыведения и диаметра молочных протоков (Prime et al., 2009). Проводилась одновременная регистрация динамики кровоснабжения вымени и интенсивности молоковыведения у коров (Мещеряков и др., 2014; Мещеряков и др., 2019) Показатели кровоснабжения вымени использовались для оценки сократительной активности альвеол. Установлено, что стимуляция терморцепторов сосков и доение аппаратом с повышенным пульсирующим давлением приводят к усилению сократительной активности альвеолярного комплекса, способствующее ускорению процесса молоковыведения.

С целью комплексной оценки интенсивности молокоотдачи у коров целесообразно проводить одновременную регистрацию динамики молоковыведения и кровоснабжения вымени. Анализ показателей кровоснабжения вымени позволит определить латентный период молокоотдачи и оценить интенсивность изменения сократительной активности альвеол. По параметрам молоковыведения можно определить характер перемещения молока из альвеол в цистернальный отдел и интенсивность его последующего выведения из вымени.

Заключение

Синтез основных составляющих секрета молочной железы осуществляется в монослое клеток секреторного эпителия, тогда как весь остальной объём вымени предназначен для сбора и транспортировки готового продукта, имеющего физическую форму жидкости. В ходе этого процесса в молочной железе и, в целом, в организме животного происходит серия последовательных изменений; фаза молокоотдачи формируется по законам гидравлики, а фаза выделения молока в основном характеризуется закономерностями гидродинамики. Существенной характеристикой всего комплекса происходящих процессов является наличие межсистемных взаимосвязей. Комплексное изучение функциональной системы молокоотдачи и выведения молока у коров включает в себя изучение процессов молокоотдачи (оценка сократительной активности альвеол и кровоснабжения вымени, регистрация изменений внутривыменного давления, определение уровня окситоцина в крови), изучение процессов выведения молока (изучение активности соска и его сфинктера, изучение взаимосвязей между удоем и параметрами молоковыведения). Комплексное исследование процессов молокоотдачи и выведения молока может способствовать выработке практических рекомендаций для высокопродуктивных коров, в том числе по совершенствованию технологий машинного и роботизированно доения и профилактике заболеваемости вымени.

Список литературы

1. Бадертдинов Р.Ш. Оценка и отбор коров по интенсивности выдаивания. // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины. 2010. № 202. С. 41-46.
2. Балакина Г.Б., Попов С.М., Шерешков В. И. Фармакологический анализ сократительной активности миоэпителиальных клеток молочной железы. // Альманах современной науки и образования. 2008. № 5. С. 10-11.
3. Банев Б., Благоев А. Сплайн-интерполяция процесса молокоотдачи при машинном доении коров. // Животноводни науки. 1995. № 5-8. С. 284-289.
4. Банев Б., Благоев А., Христов Р., Пейчев К. Оценка динамических характеристик молокоотдачи при машинном доении коров. // Животноводни науки. 1995. № 5-8. С. 290-293.
5. Барански Р., Димов Г., Александров С. Параметры молокоотдачи у коров – помесей чёрно-пёстрой породы. // Животноводни науки. 1993. № 5-6. С. 38-43.
6. Боков Е.В. Влияние денервации половины вымени коровы на динамику внутрицистернального давления во время реализации рефлекса молокоотдачи. // Бюллетень ВНИИФБиП. 1987. Вып. 4. С. 40-43.
7. Боков Е.В. Значение иннервации вымени коровы в регуляции двигательной активности сфинктера соска. // Бюллетень ВНИИФБиП. 1988. Вып. 1. С. 43-46.
8. Боков Е.В., Мещеряков В.П., Новикова Р.И., Назаров А.В., Макар З.Н. Влияние стимуляции эфферентных нервов на двигательную функцию и кровоснабжение вымени коровы. // Труды XV съезда Всесоюзного физиологического общества им. И.П. Павлова Л. 1987. Т. 2. С. 561.
9. Бородин И.Ф., Юлдашев Ф.Ф., Городецкая Т.К. Вопросы моделирования молокоотдачи коров на автоматизированной установке Тандем. // Вестник РАСХН. 1994. № 6. С. 60.
10. Вальдман Э.К. Физиология машинного доения коров. Ленинград: Колос, 1977. 99 с.
11. Владимирова А.Д. Материалы о рефлекторной регуляции выделительной функции молочной железы. // Вестник ЛГУ. 1963. № 3. С. 99-108.
12. Владимирова А.Д. О рефлекторной регуляции кровоснабжения молочной железы. // Журнал общей биологии. 1955. № 16. С. 141-155.
13. Владимирова А.Д. О рефлекторных изменениях температуры молочной железы в процессе выделения молока. // Вестник ЛГУ. 1958. № 15. С. 125-132.
14. Гарькавый Ф.Л. Показатели молокоотдачи коров, их значение, взаимосвязь и селекционная оценка. // Труды Латвийской с-х академии. 1967. Вып. 20. С. 27-35.
15. Голиков Н.Ф., Кетиладзе В.Ф. Синхронизация работы сердца, сосковых сфинктеров и пульсатора для стимуляции молокоотдачи у коров. // Ветеринария. 1988. № 3. С. 47-48.
16. Грачев И.И. Рефлекторная регуляция лактации. Ленинград: изд. ЛГУ, 1964. 279 с.
17. Грачев И.И., Шерешков В.И., Узбеков В.В., Беззубцев В.С., Алексеев Н.П. Особенности ёмкостной системы молочной железы коров и коз и скорость выведения молока. // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 12. С. 8-10.
18. Димов Г., Барански Р., Александров С. Влияние уровня продуктивности и стадии лактации на молокоотдачу коров-помесей чёрно-пёстрой породы. // Животноводни науки. 1993. № 5-6. С. 44-49.
19. Доровских В.И., Доровских Д.В., Аتكешов А.О. Пути повышения эффективности функционирования средств механизации на семейных молочных фермах. // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 6. С. 47-51.
20. Доровских В.И., Доровских Д.В., Аتكешов А.О. Результаты исследования влияния режимов доения на процесс молоковыведения у коров. // Наука в центральной России. 2014. № 3. С. 59-64.
21. Дюсембин Х. Д. Рефлекторное торможение молокоотдачи: автореф. дисс. к.б.н. Ленинград, 1958.
22. Емельянов Д.Г. Влияние жёсткости сосковой резины на интенсивность молоковыведения. // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им Н. Э. Баумана. 2014. Т. 217. С. 70-73.
23. Забродина О.Б. Математическое описание процессов молокоотдачи и молокообразования. // В сб. научных трудов «Механизация производственных процессов в животноводстве применительно к различным формам хозяйствования». Зерноград. 1994. С. 11-21.
24. Забродина О. ., Таран Е. . Алгоритм контроля функции вымени коров для автоматизированного мониторинга предприятия по производству молока. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2011. № 1. С. 179-181.

25. Исинтаев Т.И. Обеспечение регулирования режимов работы доильного аппарата. // Вестник ВНИИ механизации животноводства МЖ. 2012. № 2. С. 62-66.
26. Кавешникова К.И., Кокорина Э.П., Лаурс А.Р., Лусис М.Э., Залманис Г.Р. Физиологическое обоснование основных параметров доильных аппаратов. // Сельскохозяйственная биология. 1980. № 5. С. 770-774.
27. Кавешникова К.И., Лаурс А.Р., Лусис М. Физиологическая оценка унифицированного доильного аппарата АДУ – 1. // Бюллетень ВНИИ разведения и генетики животных. 1981. Вып. 52. С. 28-32.
28. Карташов Л.П., Макаровская З. В. Применение тепловизионного метода исследования при оценке доильной техники // Вестник ВНИИ механизации животноводства. 2008. Т. 18. № 2. С. 61-69.
29. Карташов Л. П. Машинное доение коров. М.: Колос, 1982. 301 с.
30. Карташов Л.П., Цвяк А.В. Параметры оценки доильных аппаратов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. Т. 3. № 27 – 1. С. 62-63.
31. Карташов Л.П., Цвяк А.В., Поздняков В.Д., Трубников В.В. О комплексной оценке доильных аппаратов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 6. С. 86-88.
32. Кирсанов В.В., Милешина О.В. Счётчик – датчик потока молока объёмно-весового типа с дополнительными опциями. // Вестник ВНИИ механизации животноводства. 2012. № 2. С. 76-79.
33. Кокорина Э.П., Кавешникова К.И., Красноперова Л.Г. Метод дойкограмм для оценки пригодности коров к интенсивной технологии производства молока. // Сельскохозяйственная биология. 1991. № 6. С. 174-180.
34. Кокорина Э.П. Условные рефлексы и продуктивность животных. М.: Агропромиздат, 1986. 335 с.
35. Кокорина Э.П., Филиппова Л.А. Торможение рефлекса молокоотдачи и способ оценки его при машинном доении коров. // Сельскохозяйственная биология. 1979. Т. 14. № 1. С. 88-90.
36. Лукманов Р.Р., Зигаши Б.Г., Гаязиев И.Н. К вопросу автоматизации процесса машинного доения коров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. –2012. Т. 7. № 3. С. 87-91.
37. Любин Н.А. Влияние воздействия на вымя электромагнитного поля, генерируемого аппаратом УВЧ-66, на процесс молоковыведения и молочную продуктивность коров. // Бюллетень ВНИИФБиП. 1987. № 3. С. 38-42.
38. Любин Н.А. Крупаткина Н.Б., Тверской Г.Б. Влияние доения, сопровождаемого электрораздражением сосков, на моторную и секреторную функцию вымени коровы. // Бюллетень ВНИИФБиП. 1988. № 1. С. 38-43.
39. Макаровская З.В., Карташов Л.П., Сусликов В.И. Комплексная оценка физиологичности доильной техники. // Вестник ВНИИ механизации животноводства. 2005. Т. 15. № 2. С. 86-93.
40. Макаровская З.В., Чердинцева О.И., Андреева Н.В. Способ оценки типа стрессоустойчивости коров по коэффициенту синхронности молокоотдачи четвертей вымени. // Труды X Международного симпозиума по машинному доению с-х животных, первичной обработке и переработке молока. Оренбургский государственный университет. 2002. С. 263-265.
41. Макаровская З.В. Технологические основы повышения эффективности работы доильных аппаратов // Автореф. дисс...д.тех.н. Оренбур. 2004. 36 с.
42. Марков А.Г. Механизмы образования секрета в молочной железе. // Автореф. дисс... д.б.н. Санкт-Петербург. 2000. 32 с.
43. Мещеряков В.П., Иванов Ю.Г., Пимкина Т.Н., Ермошина Е.В. Способ оценки индивидуальных особенностей молокоотдачи коров при разных технологиях доения. // Известия ТСХА. 2021. вып. 3. С. 66-78.
44. Мещеряков В.П. Кровоснабжение вымени у медленновыдаиваемых коров при выведении цистернальной и альвеолярной фракций молока. // Известия ТСХА. 2013. № 3. С. 89-101.
45. Мещеряков В.П., Макар З.Н., Мещеряков Д.В. Изучение механизма торможения молокоотдачи у коров, вызванного нарушением стереотипа доения // Проблемы биологии продуктивных животных. 2017. № 1. С. 69-80.
46. Мещеряков В.П., Макар З.Н., Мещеряков Д.В. Исследование механизма молокоотдачи у коров при доении аппаратом с повышенным пульсирующим давлением // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 4. С. 53-63.
47. Мещеряков В.П., Макарцев Н.Г., Макар З.Н., Пимкина Т.Н., Королёва С.С. Исследование кровоснабжения вымени в процессе доения у коров. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2015. № 3. С. 28-38.

48. Мещеряков В.П., Негреева А.Н., Вахрамова О.Г., Мещеряков Д.В. Использование временных параметров молоковыведения для характеристики молокоотдачи у коров. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 1. С. 72-78.
49. Мещеряков В.П., Негреева А.Н., Королёва С.С., Дудин П.В. Параметры молоковыведения и их взаимосвязь у коров черно-пёстрой породы. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 52-58.
50. Мещеряков В.П., Черёмуха Е.Г. Использование показателей кровоснабжения вымени для оценки торможения молокоотдачи у коров. // Известия ТСХА. 2017. № 2. С. 79-89.
51. Мещеряков В.П., Шевелёв Н.С., Мещеряков Д.В. Молоковыведение и кровоснабжение вымени коров при стимуляции терморепцепторов сосков в процессе доения. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2014. № 2. С. 32-40.
52. Мещеряков В.П., Шевелёв Н.С. Оценка усиления кровоснабжения вымени коровы при доении // Сельскохозяйственная биология. 2010. Т 45. № 6. С. 122-126.
53. Попов С.М. Клеточные механизмы регуляции секреторного процесса в молочной железе. Л: Наука, 1989. 200 с.
54. Проничев Н.П. Методы и технические средства повышения эффективности машинного доения коров: автореф. дисс... д. с.-х.н. пос. Дубровицы Московской области. 1997. 37 с.
55. Скопичев В. Г. Механизмы интеграции клеток в альвеолярном отделе молочной железы: автореф. дисс...д.б.н. Санкт-Петербургский государственный университет. 1994. 30 с.
56. Соловьев С. А., Асманкин Е. М. Методика ускоренных испытаний доильных аппаратов. // Техника в сельском хозяйстве. 1995. № 4. С. 9-10.
57. Соловьев С. А., Асманкин Е. М., Асманкин А. М., Шахов В. А. Моделирование процесса отдачи молока животными. // Техника в сельском хозяйстве. 1998. № 5. С. 9-11.
58. Соловьев С.А., Герасименко И.В., Шахов В.А. Новое оборудование для испытания доильных аппаратов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2005. Т 2. № 6-1. С. 48-50.
59. Сударев Н. Оценка коров по пригодности вымени к машинному доению. // Зоотехния. 2007. № 9. С. 20-21.
60. Сударев Н. П. Ресурсосберегающие технологические приемы и способы повышения продуктивности молочного скота: автореф. дисс...д.с.-х.н. пос. Лесные поляны. Московской области. ВНИИ племенного дела. 2008. 47 с.
61. Тверской Г.Б., Корнеева Р.И., Любин Н.А., Макара З.Н., Мещеряков В.П., Филь А.П., Келпис Э.А., Лаурс А.Р., Лусис М.Э. Физиологическая характеристика доильного аппарата АДС-1. // Сельскохозяйственная биология. 1993. № 6. С. 127-133.
62. Толкунов Ю.А., Балакина Г.Б., Марков А.Г. Исследование механизмов выведения секрета из молочной железы мышей. // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2000. Т. 86. № 2. С. 196-201.
63. Толкунов Ю.А., Механизмы регуляции функций альвеолярного отдела молочной железы // Автореф. дисс... д.б.н. Санкт-Петербургский государственный университет. 1993. 33 с.
64. Фризен А.П. Обоснование и разработка конструктивно-режимных параметров исполнительного механизма доильного аппарата. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2005. Т. 2. № 6-1. С. 55-57.
65. Цвяк А.В. Оценка эффективности молоковыведения при доении коров. // Вестник ВНИИМЖ. 2007. Т. 17. № 2. С. 75-79.
66. Шевелёв Н.С., Мещеряков В.П. Сопряженность динамики молоковыведения и кровоснабжения вымени коров в процессе выдаивания. // Сельскохозяйственная биология. 2008. Т. 43. № 4. С. 80 – 85.
67. Юлдашев Ф.Ф. Возможность оценки эффективности автоматизации доения коров по показателям молокоотдачи. // Сельскохозяйственная биология. 1996. № 6. С. 105-109.
68. Alekseev N.P., Markov A.G., Tolkunov Y.A. Transepithelial potential difference in the goat mammary gland and its change during hand milking, and administration of oxytocin and catecholamines. *J. Dairy Res.* 1992. 59(4): 469- 478.
69. Ayadi M., Caja G., Such X., Knight C.H. Use of ultrasonography to estimate cistern size and milk storage at different milking intervals in the udder of dairy cows. *J. Dairy Res.* 2003. 70: 1-7.

70. Blake R.W., Mc Daniel B.T. Relationships among rates of milk flow, machine time, udder conformation, and management aspects of milking efficiency: a review. *J. Dairy Sci.* 1978. 61: 363-378.
71. Bruckmaier R.M., Blum J.W. B-mode ultrasonography of mammary glands of cows, goats and sheep during α - and β -adrenergic agonist and oxytocin administration. *J. Dairy Res.* 1992. 59(2): 151-159.
72. Bruckmaier R.M., Blum J.W. Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking of dairy cows with and without prestimulation. *J. Dairy Res.* 1996. 63(3): 201-208.
73. Bruckmaier R.M., Hilger M. Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. *J. Dairy Res.* 2001. 68(3No): 369-376.
74. Bruckmaier R.M., Rothenanger E., Blum J.W. Measurement of mammary gland cistern size and determination of the cisternal milk fraction in dairy cows. *Milchwissenschaft.* 1994. 49(10): 543-546.
75. Bruckmaier R.M., Schams D., Mayer H. Stimulation, oxytocin release, intramammary pressure and milk secretion in cattle as a function of stage of lactation. In: *Beiträge zum Internationalen Kolloquium "Stimulation und Melken"* 5-7 Mai. 1992. Grimma bei Leipzig.
76. Bruckmaier R.M. Zitzenstimulation, Milchejektion und Milchabgabeverhalten beim Rind im Laktationsverlauf. *Simmentaler Fleckvieh.* 1990. 1: 44-52.
77. Butler M.C., Allen C.J., Hillerton J.E. Methods of measuring and calculating milking performance of cows. *J. Agric. Engin. Res.* 1990. 46(4): 245-257.
78. Caja G., Ayadi M., Knight C.H. Changes in cisternal compartments based on stage of lactation and time since milk ejection in the udder of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2004. 87(8): 2409-2415.
79. Cleverly J.D., Folley S.J. The blood levels of oxytocin during machine milking in cows with some observations on its half-life in the circulation. *J. Endocr.* 1970. 46: 347-361.
80. Delwiche M.J., Scott N.R., Drost C.J. Ultrasonic measurement of teat milk flow. *Transact. ASAE.* 1980. 23(3): 746-752.
81. Ely F., Petersen W.F. Factors involved in the ejection of milk. *J. Dairy Sci.* 1941. 24(3): 211-223.
82. Geddes D.T. Ultrasound imaging of the lactating breast: methodology and application. *Intern. Breastfeed. J.* 2009. 4: 4.
83. Göft H., Dida J., Dethlefsen A., Worstorff H. Untersuchungen zur züchterischen Verwendung der Melkbarkeit beim Rind unter Berücksichtigung von Milchflußkurven. *Zuchtungskunde.* 1994. 66(1): 23-37.
84. Göft H. Melkbarkeit automatisch erfassen. *Tierzüchter.* 1990. 42(6): 248-250.
85. Göft H. Neue Geräte bringen mehr Information über die Melkbarkeit von Kühen. *Tierzüchter.* 1992a. 44(7): 38-41.
86. Göft H. Zur Erfassung charakteristischer Abschnitte bei Milchflußkurven von Kühen. 1. Abgrenzung von Anstieg und Plateau. *Milchwissenschaft.* 1992b. 47(6): 371-374.
87. Gorewit R.C., Aromando M.C., Bristol D.G. Measuring bovine mammary gland blood flow using a transit time ultrasonic flow probe. *J. Dairy Sci.* 1989. 72(7): 1918-1928.
88. Gorewit R.C., Fubini S.L., Aromando M.C., Bristol D.G., Deuel D., Parker J.E. Temporal relationships between mammary blood flow and intramammary pressure during milking of cattle. *Feder. Proc.* 1985. 44(3): 2556.
89. Gorewit R.C. Method for determining oxytocin concentrations in unextracted sera; characterisation in lactating cattle. *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.* 1979. 160(1): 80-87.
90. Graf G. C., Lawson D.M. Effects of milk yields, quarters and milkings on levels of intramammary pressure. *J. Dairy Sci.* 1967. 50(5): 977.
91. Griffin T.K., Dodd F.H. A note on an indirect measure of machine milking rate. *J. Dairy Res.* 1962. 29(2): 207-210.
92. Hammond J. The physiology of milk and butter fat secretion. *Veter. Rec.* 1936. 16(17): 519-527.
93. Hogeveen H., Ouweltjes W., De Koning C. J., Stelwagen K. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livest. Prod. Sci.* 2001. 72(1-2): 157-167.
94. Inderwies T., Pfaffi M.W., Bruckmaier R.M. Milking characteristics and their relation to adrenergic receptor mRNA expression and ligand binding in the mammary gland of dairy cows. *Dom. Anim. Endocr.* 2003. 25: 275-286.
95. Inderwies T., Riedl J., Kioussis E., Bruckmaier R.M. Effects of α - and β -adrenergic receptor stimulation and oxytocin receptor blockade on milking characteristics in dairy cows before and after removal of the teat sphincter. *J. Dairy Res.* 2003. 70: 289-292.
96. Kitts W.D., Merriman M., Berry J.C. Studies on the intramammary pressure of dairy cows. *Canad. J. Anim. Sci.* 1963. 43(1): 47-55.

97. Köhler S.D., Kaufmann O. Quarter – related measurements of milking and milk parameters in an AMS-herd. *Milchwissenschaft*. 2003. 58(½): 3-6.
98. Komiya M., Kawakami K. Analysis of cow behavior and milk flow rate during milking. *J. Hokk. Branch Japan. Soc. Agric. Machin.* 1996. 36: 19-23.
99. Labussiere J., Durand A. La pression intramammaire chez les bovins après une stimulation de la mamelle ou une injection intrajugulaire d'ocytocine. *Ann. Zootech.* 1970. 19(4): 385-397.
100. Lau C., Hennig S.J. Mammary resistance: a possible controlling factor in milk ejection. *J. Endocr.* 1987. 112(3): 379-385.
101. Lawson D.M., Graf G.C. Relationship between oxytocin concentration of bovine blood plasma and intramammary pressure. *J. Dairy Sci.* 1967. 50(5): 977.
102. Macuhova J., Tancin V., Bruckmaier R.M. Effects of oxytocin administration on oxytocin release and milk ejection. *J. Dairy Sci.* 2004. 87(5): 1236-1244.
103. Macuhova J., Tancin V., Bruckmaier R.M. Oxytocin release, milk ejection and milk removal in a multi-box automatic milking system. *Livest. Prod Sci.* 2003. 81: 139-147.
104. Marie-Etancelin C., Manfredim E., Aurel M.R., Pailler F., Arhainx J., Richard E., Lagriffoul G., Guillouet P., Bibe B., Barillet F. Genetic analysis of milking ability in Lacaune dairy ewes. *Genet. Sel. Evol.* 2006. 38: 183-200.
105. Markos H.G., Touchberry R.W. Heritability of rates of milk flow and time required to milk. *J. Dairy Sci.* 1970. 53(2): 188-194.
106. Mayer H., Schams D., Prokopp A., Worstorff H. Effects of manual stimulation and delayed milking on secretion of oxytocin and milking characteristics in dairy cows. *Milchwissenschaft*. 1984a. 39(11): 666-670.
107. Mayer H., Schams D., Worstorff H., Prokopp A. Secretion of oxytocin and milk removal as affected by milking cows with and without manual stimulation. *J. Endocr.* 1984b. 103: 355-361.
108. Mein G. A., Thiel C.C., Clough P.A. The patterns of milk flowrate and teat movement in the teatcup liner during milking. *Austr. J. Dairy Techn.* 1973. 28(1): 26-30.
109. Miller R.H., Pearson R.E., Weinland B.T., Fulton L.A. Genetic parameters of several measures of milk flow rate and milking time. *J. Dairy Sci.* 1976. 59(5): 957-964.
110. Momongan V.G., Schmidt G.H. Oxytocin levels in the plasma of Holstein-friesian cows during milking with and without a premilking stimulus. *J. Dairy Sci.* 1970. 53(6): 747-751.
111. Mosdol G., Sjaastad O.V., Blom A.L. Plasma concentrations of oxytocin and intramammary pressure in goats during manual stimulating of the udder and hand-milking. *J. Endocr.* 1981. 90(2): 159-166.
112. Mottram T.T., Smith D.L.O., Godwin R.J. Monitoring milk flow as an aid to management in automatic milking systems. *J. Agric. Eng. Res.* 1994. 57(4): 263-267.
113. Naumann I., Fahr R.D. Untersuchungen zum Milchfluss aus Eutervierteln. *Arch. Tierz. Dummerst.* 2000. 43(5): 431-440.
114. Naumann I., Fahr R.D., Von Lengerken G. Zusammenhang zwischen dem Gehalt an somatischen Zellen in der Milch und ausgewählten Parametern der Milchflußkurve bei Kühen. *Arch. Tierz. Dummerst.* 1998. 41(3): 237-250.
115. Peaker M., Fleet I.R., Davis A.J., Taylor E. The effects of relaxin in the response of intramammary pressure and mammary blood flow to exogenous oxytocin in the goat. *Exp. Physiol.* 1995. 80: 1047-1052.
116. Peeters G., De Bruycker R. Influence of sympathomimetic drugs on the motility of bovine teat muscles. *J. Dairy Res.* 1975. 42(1): 11-19.
117. Phillips D.S.M. Changes in intramammary pressure and distribution of milk in the udder due to withdrawal at varying intervals after establishment of the milk ejection response. *New Zeal. J. Agric. Res.* 1968. 11(1): 47-58.
118. Prime D.K., Geddes D.T., Spatz D.L., Robert M., Trengove N.J., Hartmann P.E. Using milk flow rate to investigate milk ejection in the left and right breasts during simultaneous breast expression in women. *Intern. Breastfeed. J.* 2009. 4: 10.
119. Querengässer J., Geishauser T., Querengässer K., Bruckmaier R., Fehling K. Investigations on milk flow and milk yield from teats with milk flow disorders. *J. Dairy Sci.* 2002. 85(4): 810-817.
120. Ramsay D.T., Kent J.C., Owens R.A., Hartmann P.E. Ultrasound imaging of milk ejection in the breast of lactating women. *Pediatrics.* 2004. 113: 361-367.

121. Ramsay D.T., Mitoulas L.R., Kent J.C., Creagan M.D., Doherty D.A., Larsson, M. Hartmann P. E. Milk flow rates can be used to identify and investigate milk ejection in women expressing breast milk using an electric breast pump. *Breastfeed, Med.* 2006. 1(1): 14-23.
122. Rasmussen M.D., Frimer E.S., Galton D.M., Petersson L.G. The influence of premilking teat preparation and attachment delay on milk yield and milking performance. *J. Dairy Sci.* 1992. 75: 2131-2141.
123. Rathore A.K. Sources of variation in the milk flow rate and its relationships with milk yield, milk composition, age and stage of lactation in dairy cows. *Brit. Veter. J.* 1976. 132(1): 90-93.
124. Rovai M., Kollmann M.T., Bruckmaier R.M. Incontinentia lactis: physiology and anatomy conducive to milk leakage in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2007. 90(2): 682-690.
125. Samuelsson B., Bjorkstrand E., Emanuelsson M., Uvnas-Moberg K., Svennersten K. Differences in plasma levels of oxytocin between high yielding and low yielding dairy cows. In: *Proc. Int. Symp. Prosp. Future Dairying: A challenge for science and industry.* Tumba. Sweden. 1994.
126. Sandrucci A., Tamburini A., Bava L., Zucali M. Factors affecting milk flow traits in dairy cows: results of a field study. *J. Dairy Sci.* 2007. 90(3): 1159-1167.
127. Schmidt G.H., Van Vleck L.D. Measuring milk flow of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1969. 52(5): 639-645.
128. Sharaby M.A., Burnside E.B., Hacker R. R. Accuracy of an automated technique for determining individual milking rates under field conditions. *J. Dairy Sci.* 1977. 60(1): 133-136.
129. Smith J.W., Miller R.H., Hooven N.W., Moore J.R., Moore E.D. Sources of variation in milk flow characteristics. *J. Dairy Sci.* 1974. 57(1): 1355-1363.
130. Stallcup O.T., Rakes J.M., Ford G.L. Relationships between milk flow and anatomical characteristics of the udder. *J. Dairy Sci.* 1963. 46(6): 624.
131. Tancin V., Ipema B., Hogewerf P., Groot Koerkamp P., Mihina S., Bruckmaier R.M. Milk flow patterns at the end of milking at the whole udder or quarter levels: relationship to somatic cell counts. *Milchwissenschaft.* 2002. 57(6): 306-309.
132. Tancin V., Ipema B., Hogewerf P., Macuhova I. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *J. Dairy Sci.* 2006. 89(3): 978-988.
133. Tancin V., Ipema B., Peskovicova D., Hogewerf P.H., Macuhova J. Quarter milk flow patterns in dairy cows: factors involved and repeatability. *Vet. Med.-Czech.* 2003. 48(10): 275-282.
134. Tancin V., Kraetzl W.D., Schams D. The effect of α_2 -adrenoceptor agonists and antagonist on oxytocin release and milk removal in cows. *Milchwissenschaft.* 2003. 58(7/8): 351-355.
135. Thompson P.D., Paape M.J., Smith J.W. Intramammary pressure response to sequential injection of adrenalin and oxytocin. *J. Dairy Sci.* 1972. 55(5): 713.
136. Thompson P.D., Pike T.L. Effect of milking stimuli on teat cisternal pressure and udder blood flow in a lactating cow. *J. Dairy Sci.* 1973. 56(5): 657.
137. Tomaszewski M.A., Hargrove G.L., Legates J.E. An Assessment of field measures of milking rate. *J. Dairy Sci.* 1975. 58(4): 545-550.
138. Touchberry R.W., Markos H.G. Variations in the time required to milk cows. *J. Dairy Sci.* 1970. 53(2): 176-187.
139. Vandeputte-Van Messom G., Bernabe J., Burvenich C., Peeters G. Effect of prazosin on the function of the teat sphincter in lactating cows. *J. Dairy Res.* 1984. 51(2): 219-226.
140. Vandeputte-Van Messom G., Burvenich C., Peeters G. Action of epinephrine on the function of the teat sphincter in the lactating cow. *Vet. Res.* 1984. 45(10): 2145-2149.
141. Vandeputte-Van Messom G., Burvenich C., Peeters G. Comparison of the milk leakage potencies of adrenergic agonists in lactating cows. *Arch. Inter. Pharmacod. Ther.* 1987. 289: 177-188.
142. Vandeputte-Van Messom G., Burvenich C., Peeters G. Effect of serotonin on the motility of smooth muscles in teats of lactating cows. *J. Dairy Res.* 1985. 52(3): 347-353.
143. Van Dongen G.C., Hays R.L. A sensitive in vitro assay for oxytocin. *J. Endocrinology.* 1966. 78: 1.
144. Weiss D., Dzidic A., Bruckmaier R.M. Effects of stimulation intensity on oxytocin release before, during and after machine milking. *J. Dairy Res.* 2003a. 70: 349-354.
145. Weiss D., Dzidic A., Bruckmaier R.M. Quarter specific milking routines and their effect on milk removal in cows. *Milchwissenschaft.* 2003b. 58: 238-242.
146. Weiss D., Helmreich S., Mostl E., Dzidic A., Bruckmaier R.M. Coping capacity of dairy cows during the change from conventional to automatic milking. *J. Anim Sci.* 2004. 82: 563-570.
147. Weiß D. *Interaction between dairy cow physiology and milking technology.* Dissertation. Technische Universität Munchen. 2004.

148. Weiss D., Weinfurter M., Bruckmaier R.M. Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2004. 87(10): 3280-3289.
149. Wellnitz O., Bruckmaier R.M. Central and peripheral inhibition of milk ejection. *Livest. Prod. Sci.* 2001. 70: 135-140.
150. Wellnitz O., Zurbriggen A., Friis R.R., Blum J. W., Bruckmaier R. M. α_{1c} – and β_2 – adrenergic receptor mRNA distribution in the bovine mammary gland detected by competitive RT-PCR. *J. Dairy Res.* 2001. 68(4): 699-704.
151. White J.M., Vinson W.E. Relationships among udder characteristics, milk yield and Nonyield traits. *J. Dairy Sci.* 1975. 58(5): 729-738.
152. Whittlestone W.G. Intramammary pressure changes in the lactating cow. 1. Changes during the milking process. *J. Dairy Res.* 1955. 22(1): 290-294.
153. Whittlestone W.G., Phillips D.S.M. Automatic apparatus for drawing the milk-ejection curves of dairy cows udder controlled milking conditions. *J. Dairy Res.* 1953. 20(3): 319-326.
154. Williams D.M., Mein G.A. The bovine teat canal: information from measurement of velocity of milk flow from the teat. *J. Dairy Res.* 1986. 53(2): 179-185.
155. Witzell D.A., Mc Donald J.S. Bovine intramammary pressure changes during mechanical milking. *J. Dairy Sci.* 1964. 47(12): 1378-1381.
156. Witzell D.A., Mc Donald J.S. Intramammary pressure between milking in the lactating cow. *J. Dairy Sci.* 1965. 48(6): 726-728.
157. Worstorff H., Fischer R. Verbesserungen zur Gewinnung und Verrechnung von Milchflußkurven. *Milchwissenschaft.* 1996. 51(12): 663-666.

References (for publications in Russian)

1. Badertdinov R.Sh. [Evaluation and selection of cows according to the intensity of milking]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny* (Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine). 2010. 202: 41-46.
2. Banev B., Blagoev A. [Splein-interpolation of the milk ejection process during machine milking of cows]. *Zhivotnov'dni nauki* (Animal sciences). 2008. 5:10-11.
3. Banev B., Blagoev A., Khristov R., Peichev K. [Estimation of dynamic characteristics of milk yield during machine milking of cows]. *Zhivotnov'dni nauki* (Animal sciences). 1995. 5-8: 290-293.
4. Baranski R., Dimov G., Aleksandrov S. [Parameters of milk flow in cows - crossbreeds of black-and-white breed]. *Zhivotnov'dni nauki* (Animal sciences). 1993. 5-6: 38-43.
5. Bokov E.V. [Influence of denervation of half of the udder of a cow on the dynamics of intracisternal pressure during the implementation of the milk ejection reflex]. *Byulleten' VNIIFBiP* (Bulletin VNIIFBiP). 1987. 4: 40-43.
6. Bokov E.V., Meshcheryakov V.P., Novikova R.I., Nazarov A.V., Makar Z.N. [Influence of stimulation of efferent nerves on the motor function and blood supply of the cow's udder]. *Trudy XV s'ezda Vsesoyuznogo fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova.* (Proceedings of the XV Congress of the Pavlov Physiological Society). Leningrad. 1987. 2: 561.
7. Borodin I.F., Yuldashev F.F., Gorodetskaya T.K. [Issues of modeling cows' milk production on an automated Tandem installation]. *Vestnik RASKhN* (Vestnik RAAS). 1994. 6: 60.
8. Dimov G., Baranski R., Aleksandrov S. [Influence of the level of productivity and lactation stage on the milk yield of black-and-white cows]. *Zhivotnovodni nauki* (Animal Science). 1993. 5-6: 44-49.
9. Dorovskikh V.I., Dorovskikh D.V., Atkeshov A.O. [Ways to improve the efficiency of the functioning of mechanization on family dairy farms]. *Vestnik VNIMZh* (Bulletin of VNIIMZh). 2012. 6. 47-51.
10. Dorovskikh V.I., Dorovskikh D.V., Atkeshov A.O. [The results of the study of the influence of milking regimes on the process of lactation in cows]. *Nauka v tsentral'noi Rossii* (Science in Central Russia). 2014. 3: 59-64.
11. Dyusembin Kh.D. *Reflektornoe tormozhenie molokootdachi: avtoref. diss. k.b.n.* (Reflex inhibition of milk flow: Extended Abstract diss. Ph.D. Biol. Sci.). Leningrad, 1958.
12. Emel'yanov D.G. [Influence of the rigidity of the liner on the intensity of lactation]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im N. E. Baumana* (Scientific notes of the Kazan State Bauman Academy of Veterinary Medicine) 2014. 217: 70-73.

13. Frizen A.P. [Substantiation and development of constructive-regime parameters of the actuator of the milking machine]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Proceedings of the Orenburg State Agrarian University). 2005. 2(6-1): 55-57.
14. Gar'kavyi F.L. [Indicators of milk yield of cows, their significance, relationship and selection evaluation]. *Trudy Latviiskoi s-kh akademii* (Proceedings of the Latvian Agricultural Academy).. 1967. 20: 27-35.
15. Golikov N.F., Ketiladze V.F. [Synchronization of the work of the heart, teat sphincters and pulsator to stimulate milk flow in cows]. *Veterinariya* (Veterinary). 1988. 3: 47-48.
16. Grachev I.I. *Reflektornaya regulyatsiya laktatsii* (Reflex regulation of lactation).. Leningrad: LGU, 1964. 279 p.
17. Grachev I.I., Shereshkov V.I., Uzbekov V.V., Bezzubtsev V.S., Alekseev N.P. [Features of the capacitive system of the mammary gland of cows and goats and the rate of milk removal]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* (Agricultural biology). 1984. 12: 8-10.
18. Isintaev T.I. [Ensuring the regulation of the operating modes of the milking machine]. *Vestnik VNII mekhanizatsii zhivotnovodstva*. (Bulletin of Animal Husbandry Mechanization Institute). 2012. 2:62-66.
19. Kaveshnikova K.I., Kokorina E.P., Laurs A.R., Lusic M.E., Zalmanis G.R. [Physiological substantiation of the main parameters of milking machines]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* (Agricultural biology). 1980. 5: 770-774.
20. Kaveshnikova K.I., Laurs A.R., Lusic M. [Physiological assessment of the unified milking machine ADU-1]. *Byulleten' VNII razvedeniya i genetiki zhivotnykh*. (Bulletin of Animal Breeding and Genetics Institute). 1981. 52: 28-32.
21. Kartashov L.P., Makarovskaya Z.V. [Application of the thermal imaging method of research in the evaluation of milking equipment]. *Vestnik VNII mekhanizatsii zhivotnovodstva*. (Bulletin of Livestock Mechanization Institute). 2008. 18(2): 61-69.
22. Kartashov L. P. *Mashinnoe doenie korov*. (Machine milking of cows). Moscow: Kolos, 1982. 301 p.
23. Kartashov L.P., Tsvyak A.V. [Parameters for evaluating milking machines]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. (Proceedings of the Orenburg State Agrarian University). 2010. 3(27-1): 62-63.
24. Kartashov L.P., Tsvyak A.V., Pozdnyakov V.D., Trubnikov V.V. [On the comprehensive assessment of milking machines]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. (Proceedings of the Orenburg State Agrarian University). 2012. 6: 86-88.
25. Kirsanov V.V., Mileshina O.V. [The counter is a volume-weight type milk flow sensor with additional options]. *Vestnik VNII mekhanizatsii zhivotnovodstva*. (Bulletin of Mechanization of Animal Husbandry Institute). 2012. 2: 76-79.
26. Kokorina E.P., Filippova L.A. [Inhibition of the milk ejection reflex and a method for assessing it during machine milking of cows]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* (Agricultural biology). 1979. 14(1): 88-90.
27. Kokorina E.P. *Uslovnye refleksy i produktivnost' zhivotnykh*. (Conditioned reflexes and productivity of animals). Moscow.: Agropromizdat, 1986. 335 p.
28. Kokorina E.P., Kaveshnikova K.I., Krasnoperova L.G. [Doikogram method for evaluating the suitability of cows for intensive milk production technology]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya/* (Agricultural biology). 1991. 6: 174-180.
29. Lukmanov R.R., Zigashin B.G., Gayaziev I.N. [On the issue of automation of the process of machine milking of cows]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Bulletin of the Kazan State Agrarian University). 2012. 7(3): 87-91.
30. Lyubin N.A. [Influence of impact on the udder of the electromagnetic field generated by the UHF-66 apparatus, on the process of milk excretion and milk productivity of cows]. *Byulleten' VNIIFBiP* (VNIIFBiP Bulletin). 1987. 3: 38-42.
31. Lyubin N.A. Krupatkina N.B., Tverskoi G.B. [The effect of milking accompanied by electrical stimulation of the teats on the motor and secretory function of the cow's udder]. *Byulleten' VNIIFBiP* (Bulletin of VNIIFBiP). 1988. 1: 38-43.
32. Makarovskaya Z.V., Kartashov L.P., Suslikov V.I. [Kompleksnaya otsenka fiziologichnosti doil'noi tekhniki]. *Vestnik VNII mekhanizatsii zhivotnovodstva* (Bulletin of the Russian Research Institute of Livestock Mechanization). 2005. 15(2): 86-93.
33. Makarovskaya Z.V., Kartashov L.P., Suslikov V.I. [A method for assessing the type of stress resistance of cows by the coefficient of synchrony of milk yield of udder quarters]. *Trudy X Mezhdunarodnogo simpoziuma po mashinnomu doeniyu s-kh zhivotnykh, pervichnoi obrabotke i pererabotke moloka*

- (Proceedings of the X International Symposium on machine milking of agricultural animals, primary processing and processing of milk). Moscow, 2002: 263-265.
34. Makarovskaya Z.V. *Tekhnologicheskie osnovy povysheniya effektivnosti raboty doil'nykh apparatov: avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk.* (Technological bases for improving the efficiency of milking machines: Extended Abstract of diss. D. Techn. Sci.). Оренбург, 2004. 36 p.
 35. Markov A. G. *Mekhanizmy obrazovaniya sekreta v molochnoi zheleze: avtoref. diss. d.б.н.* [Mechanisms of secretion formation in the mammary gland: Extended Abstract of t diss. Dr. Biol. Sci.] Saint Petersburg, 2000. 32 p.
 36. Meshcheryakov V.P., Ivanov Yu.G., Pimkina T.N., Ermoshina E.V. [A method for assessing the individual characteristics of milk yield of cows with different milking technologies]. *Izvestiya TSKhA* (Izvestiya TAGA). 2021. 3: 66-78.
 37. Meshcheryakov V.P. [Udder blood supply in slow-draining cows during the removal of cisternal and alveolar fractions of milk]. *Izvestiya TSHA* (Izvestiya TAGA). 2013. 3: 89-101.
 38. Meshcheryakov V.P., Makar Z.N., Meshcheryakov D.V. [Study of the mechanism of inhibition of milk flow in cows caused by a violation of the stereotype of milking] *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of productive animal biology). 2017. 1: 69-80.
 39. Meshcheryakov V.P., Makar Z.N., Meshcheryakov D.V. [Study of the mechanism of milk flow in cows during milking by a device with increased pulsating pressure]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of productive animal biology). 2019. 4: 53-63.
 40. Meshcheryakov V.P., Makartsev N.G., Makar Z.N., Pimkina T.N., Koroleva S.S. [Study of udder blood supply during milking in cows]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of productive animal biology). 2015. 3: 28-38.
 41. Meshcheryakov V.P., Negreeva A.N., Vakhramova O.G., Meshcheryakov D.V. [Use of temporal parameters of lactation to characterize milk yield in cows]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University). 2018. 1: 72-78.
 42. Meshcheryakov V.P., Negreeva A.N., Koroleva S.S., Dudin P.V. [Milk removal parameters and their relationship in Black-and-White cows]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University). 2017. 2: 52 -58.
 43. Meshcheryakov V.P., Cheremukha E.G. [The use of indicators of blood supply to the udder to assess the inhibition of milk ejection in cows]. *Izvestiya TSKhA* (Izvestiya of TAGA). 2017. 2: 79-89.
 44. Meshcheryakov V.P., Shevelev N.S., Meshcheryakov D.V. [Milk removal and blood supply to the udder of cows during stimulation of teat thermoreceptors during milking]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of Productive Animal Biology). 2014. 2: 32-40.
 45. Meshcheryakov V.P., Shevelev N.S., Meshcheryakov D.V. [Milk removal and blood supply to the udder of cows during stimulation of teat thermoreceptors during milking]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of Productive Animal Biology). 2010. 6: 122-126.
 46. Popov S. M. *Kletochnye mekhanizmy regulyatsii sekretornogo protsessa v molochnoi zheleze* (Cellular mechanisms of regulation of the secretory process in the mammary gland). Leningrad: Nauka Publ., 1989. 200 p.
 47. Pronichev N.P. *Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti mashinnogo doeniya korov: avtoref. diss. dr. sels. nauk.* (Methods and technical means to improve the efficiency of machine milking of cows: Extended Abstract of diss. Dr. Agr. Sci.). Dubrovitsy, Moscow oblast, 1997. 37 p.
 48. Shevelev N.S., Meshcheryakov V.P. [Correlation between the dynamics of milk excretion and blood supply to the udder of cows in the process of milking]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* (Agricultural biology). 2008. 43(4): 80-85.
 49. Skopichev V. G. *Mekhanizmy integratsii kletok v al'veolyarnom otdele molochnoi zhelezy: avtoref. diss. dr. biol. nauk.* (Mechanisms of cell integration in the alveolar region of the mammary gland: Extended Abstract of diss. Dr Biol, Sci.). Saint Petersburg, VNIIRGZhH. 1994. 30 p.
 50. Solov'ev S.A., Asmankin E.M. [Method of accelerated testing of milking machines]. *Tekhnika v sel'skom khozyaistve* (Technique in agriculture). 1995. 4: 9-10.
 51. Solov'ev S.A., Asmankin E.M., Asmankin A.M., Shakhov V.A. [Modeling the process of milk ejection in animals]. *Tekhnika v sel'skom khozyaistve* (Technique in agriculture). 1998. 5: 9-11.
 52. Solov'ev S.A., Gerasimenko I.V., Shakhov V.A. [New equipment for testing milking machines]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Proceedings of the Orenburg State Agrarian University). 2005. 2(6-1): 48-50.

53. Sudarev N. [Evaluation of cows according to the suitability of the udder for machine milking]. *Zootekhnika* (Zootechnics). 2007. 9: 20-21.
54. Sudarev N.P. *Resursosberegayushchie tekhnologicheskie priemy i sposoby povysheniya produktivnosti molochnogo skota*: avtoref. diss. d.s.-kh.n. (Resource-saving technological methods and ways to increase the productivity of dairy cattle: Extended Abstract of diss. Dr, Agr. Sci.). Lesnye polyany. Moscow oblast. 2008. 47 p.
55. Tverskoi G.B., Korneeva R.I., Lyubin N.A., Makar Z.N., Meshcheryakov V.P., Fil' A.P., Kelpis E.A., Laurs A.R., Lusic M.E. [Physiological characteristics of the milking machine ADS-1]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* (Agricultural biology). 1993. 6: 127-133.
56. Tolkunov Yu.A., Balakina G.B., Markov A.G. [Study of the mechanisms of secretion removal from the mammary gland in mice]. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova* (Russian Sechenov Physiological Journal). 2000. 86(2): 196-201.
57. Tolkunov Yu.A. *Mekhanizmy regulyatsii funktsii al'veolyarnogo otdela molochnoi zhelezy*: avtoref. diss. d.b.n. (Regulation mechanisms of the functions of the alveolar part of the mammary gland: extended abstract of diss. Dr. Biol. Sci.). Sankt-Peterburg, 1993. 33 p.
58. Tsvyak A.V. [Evaluation of the efficiency of milk excretion during milking of cows]. *Vestnik VNIIMZh* (Bulletin of VNIIMZh). 2007. 17(2): 75-79.
59. Val'dman E.K. *Fiziologiya mashinnogo doeniya korov* (Physiology of cows machine milking). Leningrad: Kolos, 1977. 99 p.
60. Vladimirova A.D. [Materials about the reflex regulation of the excretory function of the mammary gland]. *Vestnik LGU* (Bulletin of Leningrad State University). 1963. 3: 99-108.
61. Vladimirova A.D. [On the reflex regulation of the blood supply to the mammary gland]. *Zhurnal obshchei biologii* (Journal of General Biology). 1955. 16: 141-155.
62. Vladimirova A.D. [On reflex changes in the temperature of the mammary gland in the process of milk secretion]. *Vestnik LGU* (Bulletin of Leningrad State University). 1958. 15.: 125-132.
63. Yuldashev F.F. [Possibility of evaluating the efficiency of automation of milking cows in terms of milk yield]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* (Agricultural biology). 1996. 6: 105-109.
64. Zabrodina O.B. [Mathematical description of the processes of milk ejection and milk formation]. *Sbornik nauchnykh trudov: Mekhanizatsiya proizvodstvennykh protsessov v zhivotnovodstve primenitel'no k razlichnym formam khozyaistvovaniya*. (Scientific papers: Mechanization of production processes in animal husbandry in relation to various forms of management). Zernograd. 1994: 11-21.
65. Zabrodina O.B., Taran E.N. [Algorithm for controlling the function of the udder of cows for automated monitoring of a milk production enterprise]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. (Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University). 2011. 1: 179-181.

UDC 636.2.034:612

**Studying the processes of milk ejection and removal in cows:
non-invasive measurement methods, estimates of parameters and their
interrelations with milk yield: a review**

Meshcheryakov V.P.

*Kaluga branch of Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow
State Agrarian Academy, Kaluga, Russian Federation*

ABSTRACT. The synthesis of the main components of the mammary gland secretion is carried out not in the entire volume of the organ, as, for example, in skeletal muscles, but in a monolayer of cells of the secretory epithelium, while the rest of the volume of the udder is intended for collecting and transporting the finished product, which has the physical form of a liquid. During this process, a series of successive changes occur in the mammary gland and, in general, in the body of the animal; the milk ejection phase is formed according to the laws of hydraulics, and the milk removal is mainly characterized by the laws of hydrodynamics. An essential characteristic of the whole complex of ongoing processes is the presence of intersystem relationships. The purpose of the review is to systematize literature and own data on measurement methods, parameter assessment and analysis of relationships in a comprehensive study of the functional system of milk ejection and milk removal in cows. Main sections: study of milk ejection processes (assessment of the contractile activity of the alveoli and blood supply to the udder, registration of changes in intraudder pressure, determination of the level of oxytocin in the blood), study of the processes of milk removal (study of the activity of the nipple and its sphincter, study of the relationship between milk yield and milk removal parameters), a comprehensive functional activity assessment of the milk ejection and milk removal systems. Concluded that a comprehensive study of this functional system can contribute to the development of practical recommendations for highly productive cows, including the improvement of machine and robotic milking technologies and the prevention of udder diseases.

Keywords: dairy cows, milk ejection, intraudder pressure, milk removal, blood supply, parameters assessment, interrelations with milk yield.

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Productive Animal Biology), 2023, 3: 37-57.

Поступило в редакцию: 02.08.2023

Получено после доработки: 13.09.2023

Сведения об авторах:

Мещеряков Виктор Петрович, к.б.н., 8(919)036-07-59; vpmeshcheryakov@mail.ru