

**Хельсинкский университет  
Кафедра животноводства**

**Катионно-анионный баланс в кормах  
и потребление кальция и магния  
у стельных коров**

**Сусанна Тауриайнен**

**Диссертация  
Хельсинки, 2001**

**Место выполнения работы:**

Department of Animal Science  
PL 28  
FIN-00014 University of Helsinki, Finland

**Научные руководители:**

Professor Liisa Syrjälä-Qvist  
Department of Animal Science  
PL 28  
FIN-00014 University of Helsinki, Finland

Professor Satu Pyörälä  
Saari unit  
Pohjoinen pikatie 800  
04920 Saarentaus

Dr. Satu Sankari  
Department of Clinical Veterinary Sciences  
Central Laboratory  
PL 57  
FIN-00014 University of Helsinki, Finland

**Рецензенты:**

Dr Pentti Aspila  
Agricultural Research Centre of Finland  
FIN-31600 Jokioinen

Dr. Elias Jukola  
LSO Foods Oy  
PL 49  
01511 Vantaa

**Оппонент:**

Professor Hannu Saloniemi  
Department of Clinical Veterinary Sciences  
PL 57  
FIN-00014 University of Helsinki, Finland

**ISBN 951-45-9710-9 nid.**  
**ISBN 951-45-9711-7 PDF**  
**ISSN 1236-9837**

В электронном виде работа доступна по адресу: <http://ethesis.helsinki.fi>

**Хельсинки, 2001**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>РЕЗЮМЕ</b> .....	2
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	4
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	5
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	8
<b>Распределение кальция и магния между тканями организма</b> .....	8
<b>Метаболизм кальция и магния</b> .....	8
Всасывание кальция и магния .....	8
Регуляция гомеостаза кальция и магния .....	10
Экскреция кальция и магния .....	14
Использование кальция и магния .....	15
<b>Молочная лихорадка (парез)</b> .....	17
<b>Катионно-анионный баланс корма (КАБК)</b> .....	21
Определение, расчет и дозирование КАБК .....	21
Аппетитность анионных солей для коров .....	26
Влияние КАБК на метаболизм кальция .....	26
Влияние КАБК на здоровье и молочную продуктивность коров .....	32
<b>ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	34
<b>ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	34
<b>Схемы опытов</b> .....	34
<b>Корма</b> .....	35
<b>ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ</b> .....	38
<b>Аппетитность и эффективность анионных солей</b> .....	38
<b>Влияние потребления Mg и K на метаболизм минеральных веществ</b> .....	39
<b>Содержание в крови минеральных веществ и ее кислотно-основной баланс</b> .....	41
<b>Паратиреоидный гормон</b> .....	42
<b>Экскреция минеральных веществ с мочой</b> .....	43
<b>Здоровье животных</b> .....	44
<b>Дальнейшие исследования</b> .....	45
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	46
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	48

## РЕЗЮМЕ

В пяти различных опытах (I-V) оценивалось влияние анионных солей в смесях-концентратах на метаболизм минеральных веществ и кислотно-основной статус стельных коров, получавших рационы на основе травяного силоса. Оценено влияние различных величин показателя катионно-анионного баланса корма (КАБК) при разных потреблении кальция (Ca), магния (Mg) и калия (K) на кислотно-основной статус и некоторые показатели концентрации минеральных веществ в крови и моче коров. Показатель КАБК рассчитывался по формуле:  $[(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})]$ , мэкв/кг сухого вещества корма (СВК). Суточное потребление СВК в опытах I-III в среднем составляло 7,62 кг/гол., а в опытах IV-V 8,96 кг/гол. Экспериментальный рацион в опытах I-III состоял из 67% травяного силоса, 12% сена и 20% смеси-концентрата (в расчете на СВК). В этот корм дополнительно вводили 1,0% карбоната кальция  $CaCO_3$  (опыты I и III) или 0,5% карбоната кальция и 0,5% оксида магния  $MgO$  (опыт II). В опытах IV-V экспериментальный рацион состоял из 59% травяного силоса, 10% сена и 31% концентрата. Образцы крови и мочи у каждой коровы брали за 4, 3, 2 и 1 неделю до предполагаемого срока отела, при отеле, через 1 день и 1 неделю после отела. Для оценки степени мобилизации костяка измеряли концентрацию гидроксипролина в моче (опыты I-III). Взвешивание коров и оценку состояния тела проводили в начале опыта, за две недели до предполагаемого срока отела и после отела. Отек вымени оценивали количественно (опыты IV-V) и визуально (опыт V).

Величина показателя КАБК, равная -247 мэкв/кг СВК (опыт I), вызывала у животных умеренный метаболический ацидоз, позволяющий им поддерживать необходимую концентрацию кальция в крови. Однако такая степень закисления все же была избыточной, так как при этом значительно снижался pH мочи (<6) и сильно изменялись концентрации катионов калия и натрия и хлорид-анионов в плазме крови. Небольшие положительные значения КАБК (от +107 до +32 мэкв/кг СВК, опыты II-IV) не оказывали влияния на метаболизм кальция у стельных коров, о чем свидетельствовало отсутствие изменений концентрации ионов кальция в крови при отеле, а также отсутствие изменений (опыт IV) или небольшие изменения (опыты II-III) вывода кальция с мочой. Показатели pH мочи уменьшались во всех 5 опытах. Повышение потребления магния выше принятых в Финляндии рекомендаций (17 г Mg/гол./сут.) во время периода стельности улучшало магниевый статус коров при отеле (опыты I, IV, V). Однако при использовании в качестве дополнительного источника магния его оксида (опыт II) улучшений не отмечено. Высокое потребление калия (3,4% в расчете на СВК) в сочетании с высоким потреблением магния (0,4% в расчете на СВК) в позднестельный период отрицательно сказывалось на метаболизме магния в начале лактации, когда его

секреция в молоко сильно увеличивается: у 5 из 7 коров через неделю после отела концентрация ионов магния в крови была низкой ( $<0,85$  ммоль/л). Отек вымени не наблюдался при диапазоне значений КАБК между +571 и -40 мэв/кг СВК (опыты IV-V).

Привлекательность (аппетитность) концентрата для коров в опытах II-V была хорошей, отказов от корма не наблюдалось; концентрации анионных солей в кормах в этих опытах составляла 2,99 (опыт II), 3,39 (опыт III), 1,80 (опыт IV), 3,15 (опыт V) экв/гол./сут. Однако в опыте I, где животные получали 3,17 экв./гол./сут. анионных солей при самом низком показателе КАБК (-247 мэв/кг СВК), привлекательность концентрата была плохой. Было довольно сложно вводить в корм анионные соли на рекомендуемом уровне (от -50 до -200 мэв/кг СВК) на фоне содержания калия в травяном силосе свыше 30 г/кг СВК: это могло привести либо к ухудшению привлекательности концентрата для коров (опыт I), либо к снижению питательной ценности концентрата (опыты II-IV).

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа состоит из обзора литературы, обсуждения проблемы и следующих 5 публикаций, описывающих опыты I-V:

I. TAURIAINEN, S., SANKARI, S., PYÖRÄLÄ, S. and SYRJÄLÄ-QVIST, L. 1998. Effect of anionic salts in concentrate mixture and calcium intake on some blood and urine minerals, acid-base balance and feed intake of dry pregnant cows on grass silage based feeding. *Agricultural and Food Science in Finland*. 7: 523-533.

II. TAURIAINEN, S., SANKARI, S., PYÖRÄLÄ, S. and SYRJÄLÄ-QVIST, L. 1998. Effect of anionic salts in concentrate mixture and magnesium intake on some blood and urine minerals, acidbase balance and feed intake of dry pregnant cows on grass silage based feeding. *Agricultural and Food Science in Finland*. 7: 535-543.

III. TAURIAINEN, S., SANKARI, S., and SYRJÄLÄ-QVIST, L. 1998. Effect of anionic salts in concentrate mixture on some blood and urine minerals, acid-base balance and feed intake of dry pregnant cows on grass silage based feeding with high calcium intake. *Agricultural and Food Science in Finland*. 7: 545-552.

IV. TAURIAINEN, S., SANKARI, S., PYÖRÄLÄ, S. and SYRJÄLÄ-QVIST, L. 2001. Effect of anionic salts and potassium intake on some blood and urine minerals and acid-base balance of dry pregnant cows on grass silage based feeding. *Journal of Animal and Feed Sciences* 10 (принято к публикации)

V. TAURIAINEN, S., SANKARI, S., PYÖRÄLÄ, S. and SYRJÄLÄ-QVIST, L. Effect of anionic salts on some blood and urine minerals, acid-base balance and udder oedema of dry pregnant cows fed grass based diets.

Работы I-IV воспроизведены здесь с любезного разрешения их издателей.

### **Вклад автора в эти работы:**

Автор отвечала за планирование экспериментов и спецификации опытных рационов (опыты I-V). Она участвовала в сборе фуража (опыты I, III), отборе проб крови (опыты I, III-V) и мочи (опыты I, III), оценке отека вымени (опыт IV), анализе кислотно-основного соотношения в крови (опыты I, III-V), измерении концентраций кальция и магния (опыты IV-V). В опыте IV автор также проводил обработку данных и подготовку публикации.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЖМ	- живая масса
КАБК	- катионно-анионный баланс корма
КСБ	- кальций-связывающий белок
ПРК	- полнорационный корм
ПТГ	- паратиреоидный гормон
СВ	- сухое вещество
СВК	- сухое вещество корма

## ВВЕДЕНИЕ

Кормление молочного скота в Финляндии ведется, преимущественно, на основе дачи травяного силоса вволю. При таком режиме кормления жизненно необходима сбалансированная дача минеральных веществ, особенно в период стельности. Во-первых, содержание кальция в рационе для стельных коров должно поддерживаться на как можно более низком уровне, т.к. высокие уровни кальция в рационах позднестельного периода способствуют развитию у коров молочной лихорадки (гипокальциемии). Среднее содержание кальция в травяном силосе составляет 3,5-4,5 г Са/кг СВ; в некоторых случаях оно может возрастать до 15,0-20,0 г Са (Valio Ltd, 2000). Особенно высоким натуральным содержанием кальция отличается силос из клевера (7,4 г Са/кг СВ). В южных регионах Финляндии содержание кальция в фуражных кормах выше, чем в других регионах страны, из-за глинистых почв. Следовательно, суточное потребление кальция коровой может варьировать от 50 до 90 г Са/сут., что превышает принятые в стране рекомендации для молочных коров в период стельности (40 г Са/сут., Tuori et al., 2000).

Во-вторых, силос из предварительно подсушенной травы может содержать высокие уровни калия (>30 г К/кг СВ), что может приводить к ухудшению использования других минеральных веществ корма, особенно магния. Известно, что высокое потребление калия может ингибировать абсорбцию (всасывание) магния у жвачных. Низкое потребление магния также повышает риск возникновения молочной лихорадки. Недавно Goff & Horst (1997) показали, что высокое содержание калия в кормах может являться даже более важным фактором риска молочной лихорадки, чем высокое содержание в них кальция. В Финляндии среднее содержание магния в силосе из свежей и подсушенной травы составляет соответственно 1,7 и 1,8 г Mg/кг СВ (по данным 1996-1999гг.). Весной содержание магния в травяном силосе минимально, и возрастает к осени. В последние два года (1998-1999) отмечено меньшее содержание магния (1,5 г Mg/кг СВ), чем в предыдущие годы (Valio Ltd, 2000).

Молочная лихорадка является наиболее распространенным метаболическим заболеванием молочного скота в Финляндии. Частота этого заболевания в 1998г. составила 9% (Health record data, 1999). Поскольку профилактика этой болезни с помощью снижения потребления кальция с кормом затруднена высокими концентрациями кальция в травяном силосе, то возможной альтернативой может служить снижение КАБК. Этот показатель определяется как разность суммы концентраций катионов калия и натрия и суммы концентраций хлорид- и сульфид-анионов в корме (мэкв/кг СВК). Снижение этого показателя ниже нулевого уровня с помощью вода в корма анионных солей может улучшать метаболизм кальция за счет повышения всасывания кальция корма в кишечнике



и/или повышения мобилизации кальция из костяка (Block, 1984). У коров, получавших анионные соли, отмечались более высокие по сравнению с отрицательным контролем уровни кальция в плазме крови (Oetzel et al., 1988; Goff et al., 1991), и поэтому они потенциально менее подвержены гипокальциемии. Для составления анионных рационов можно использовать такие анионные соли, как сульфат магния, сульфат кальция, сульфат аммония, хлорид аммония и хлорид кальция (Oetzel et al., 1991). Эти соли при их избытке в корме могут стать токсичными. С другой стороны, их дозировка должна быть достаточной для оказания влияния на метаболизм кальция у дойных коров. Практически во всех исследованиях низких уровней КАБК анионные соли вводили в рационы в свободном виде. В результате этого такие исследования представляют мало ценности для практики. Здесь возникает вопрос: возможно ли использовать концентрированные смеси анионных солей в рационах для стельных коров на основе травяного силоса для компенсации возникающего на таких рационах дисбаланса потребления кальция, магния и калия.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### Распределение кальция и магния между тканями организма

Общее содержание кальция и магния в организме взрослой молочной коровы весом 600 кг в среднем составляет соответственно 7000 и 240 г. Более 99% всего кальция и порядка 70% всего магния тела сосредоточены в костяке. Остальной кальций (1% или 70 г) распределен по другим тканям, участвующим в клеточном метаболизме, свертываемости крови, активации ферментов, нейромускульной связи и т.д. Остальные 29% (70 г) всего магния организма сосредоточены, в основном, в межклеточной ткани, выступая в качестве катиона мягких тканей (Georgievskii et al., 1982). Магний также является кофактором многих важных ферментов и важен для нормальной функции нервной ткани (Georgievskii et al., 1982; Underwood & Suttle, 1999).

Внеклеточный кальций и магний составляют около 0,1% (7 г) всего кальция и 1% (2,4 г) всего магния организма коровы. Нормальный уровень кальция и магния в плазме крови коров составляет соответственно 2,11-2,75 и 0,50-1,10 ммоль/л (Radostits et al., 1994). Примерно 50% всего кальция и 70% всего магния в плазме крови находится там в ионной форме, а остальное их количество – в связанной форме, прежде всего, с белками, а также органическими и неорганическими анионами (Agnes et al., 1993; Riond et al., 1995). Общие межклеточные концентрации кальция и магния в норме составляют соответственно 0,0001 и 4-8 ммоль/л (Martens, 1993).

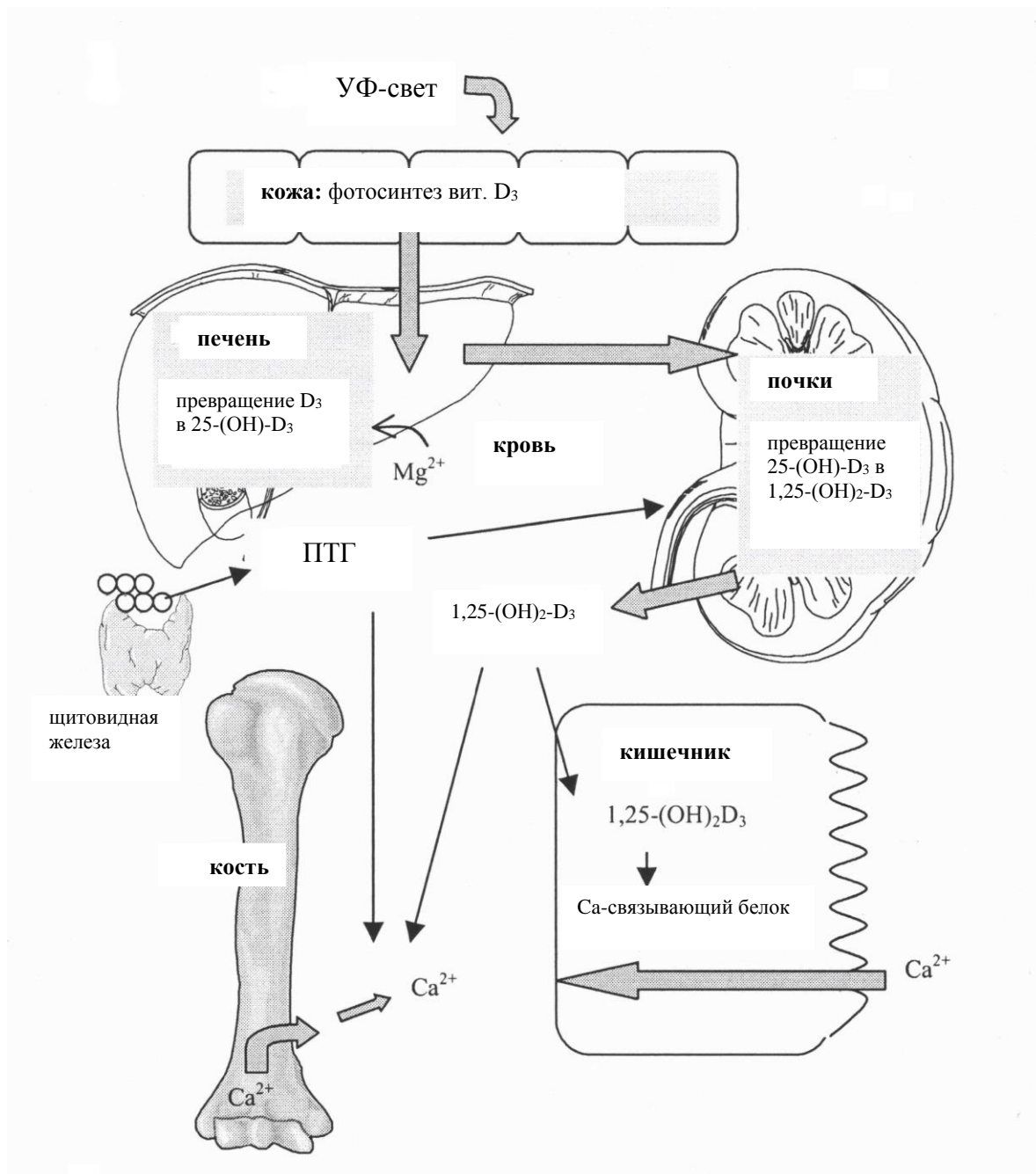
### Метаболизм кальция и магния

#### Всасывание кальция и магния

Основной зоной всасывания кальция в организме коров является верхняя часть тонкого кишечника (Ben-Ghedalia et al., 1975), тогда как за всасывание магния отвечает преимущественно рубец и сетка (Tomas & Potter 1976). Однако магний может также всасываться и после преджелудков, особенно при его высоком потреблении с кормом (Grace et al., 1974).

Кальций всасывается в тонком кишечнике при участии активного транспортного механизма, действующего против ионного и концентрационного градиента (Georgievskii et al., 1982). Этот механизм специфичен для кальция и осуществляется с помощью особого кальций-связывающего белка (КСБ). Витамин D<sub>3</sub> может усиливать всасывание кальция за счет усиления синтеза этого белка в клетках кишечника (см. **Рис. 1**). КСБ переносит

кальций через клетки кишечника. Во внеклеточную жидкость кальций попадает при помощи обменного механизма с участием натрия (Murer & Hildmann, 1981; Capen & Rosol, 1989).



**Рисунок 1.** Метаболизм и активация витамина D<sub>3</sub>. Адаптировано по данным Mutanen & Voutilainen (1993) и Chamberlain & Wilkinson (1996).

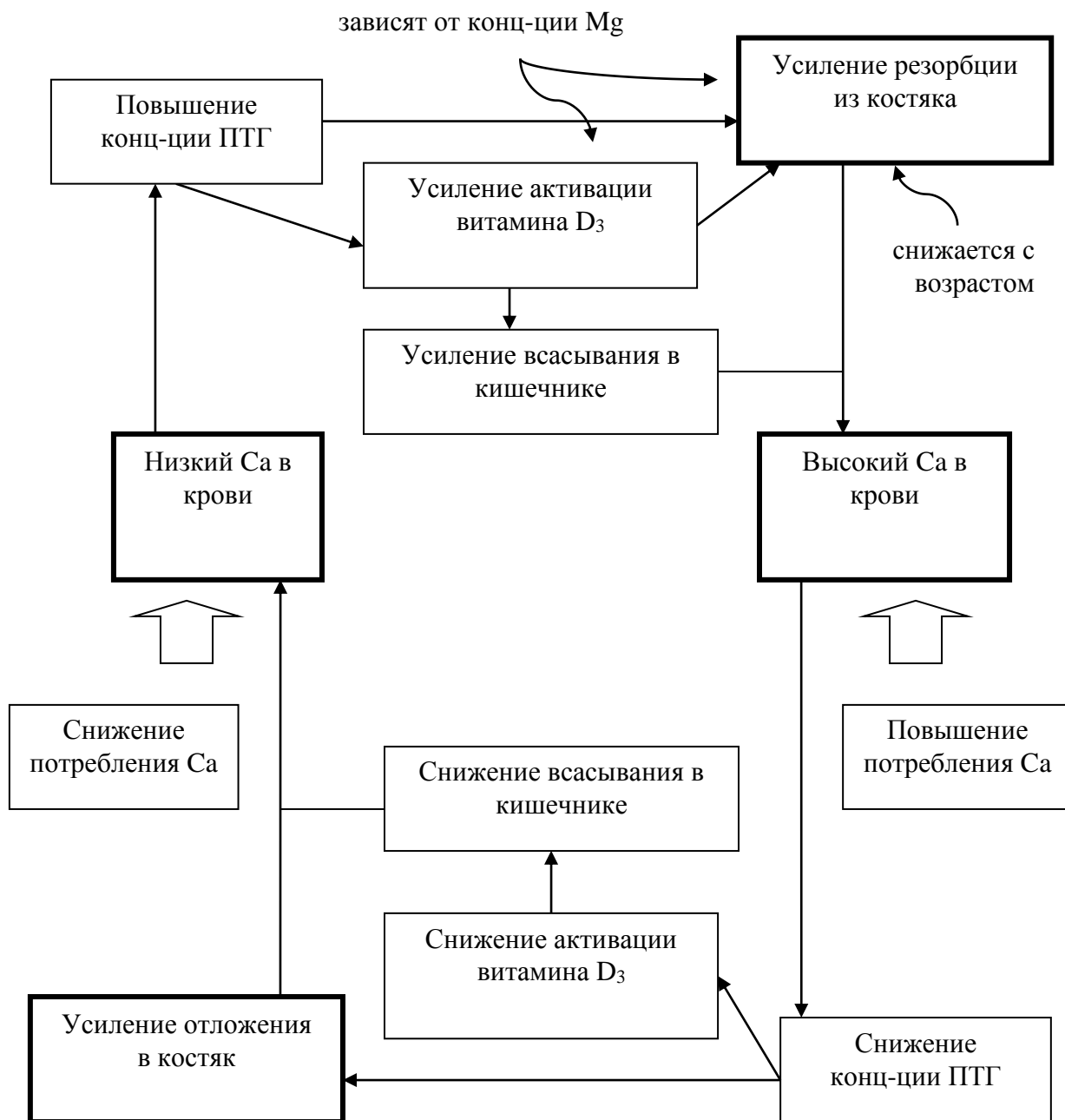
Транспорт магния через апикальную мембрану эпителия рубца происходит с помощью двух активных транспортных процессов против электрохимического градиента (Leonhard et al., 1989). Эти процессы зависят от концентрации калия в рубце, поэтому повышение потребления калия ухудшает всасывание магния (Leonhard-Marek & Martens, 1996).

#### Регуляция гомеостаза кальция и магния

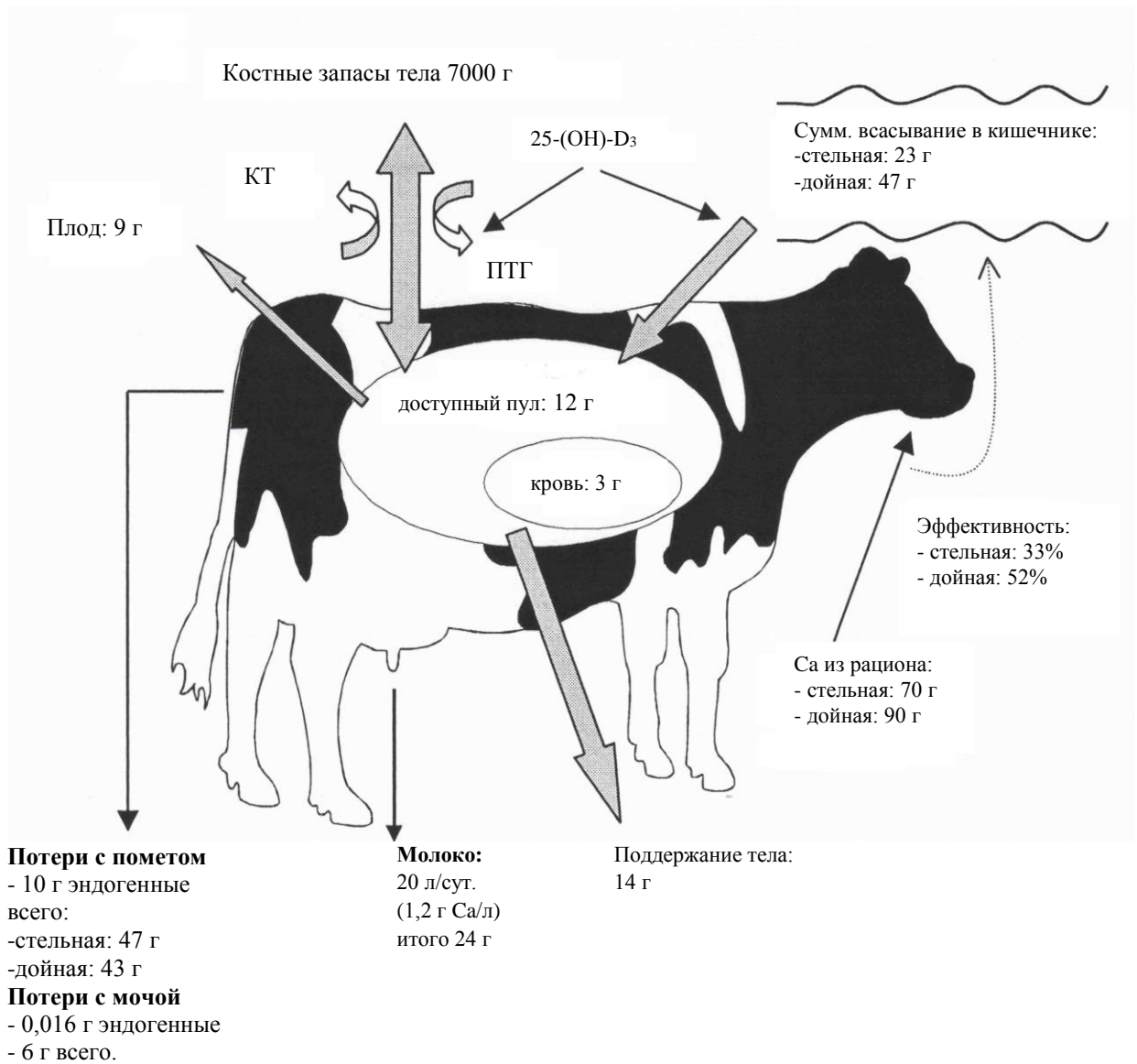
Крупный рогатый скот может всасывать кальций из пищеварительного тракта в соответствии с потребностями организма, т.е. может изменять эффективность всасывания кальция в соответствии с изменениями потребности в нем. Например, если корова потребляет с кормом больше кальция, чем ей нужно, процент всасывания кальция из корма снижается (Horst, 1986; Reinhardt et al., 1988). Снижение потребления кальция с кормом стимулирует секрецию паратиреоидного гормона (ПТГ) в паратиреоиде (околощитовидной железе). ПТГ усиливает реабсорбцию кальция в почках (Caren & Rosol, 1989) и стимулирует синтез 1,25-дигидроксипроизводного витамина D<sub>3</sub> (1,25-дигидроксиголекальциферол, 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>) из 25-моногидроксипроизводного в почках (Allen & Sansom, 1985; см. **Рис. 1**). В результате повышения секреции 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> и ПТГ происходит усиление резорбции кальция из костяка и его всасывания в кишечнике (Horst, 1986; Horst et al., 1994). Антагонистом ПТГ является кальцитонин, секретлируемый С-клетками щитовидной железы. Кальцитонин восстанавливает депо кальция в костяке в периоды его адекватного потребления с кормом. Кальцитонин снижает концентрацию кальция в плазме крови за счет снижения интенсивности резорбции костей (Allen & Sansom, 1985; см. **Рис. 2**).

Для регуляции концентрации ионов кальция в кровотоке важным является общий приток кальция из его большого скелетного депо. Баланс между процессами аккреции (отложения в костяк) и резорбции (извлечения из костяка) позволяет извлекать из костяка коровы до 1/5 содержащегося там кальция в позднестельный период и во время лактации. Если потребление кальция с кормом находится в пределах между 10 и 15 г/сут., организм коровы полностью зависит от костных резервов кальция. Если потребление кальция с кормом превышает 50-60 г/сут., то основная часть потребностей организма удовлетворяется кормовым кальцием, и лишь небольшое количество кальция резорбируется из костяка (Ramberg et al., 1984). Губчатая кость – временно образующая костная ткань, формирующаяся быстрее плотной (ламеллярной) кости и содержащая больше кальция. Этот тип кости выступает в роли мобильного депо кальция, особенно в период поздней стельности и лактации. В этой кости кальций находится в жидкости, омывающей костные клетки и заполняющей костные каналы. Растворимый кальций из

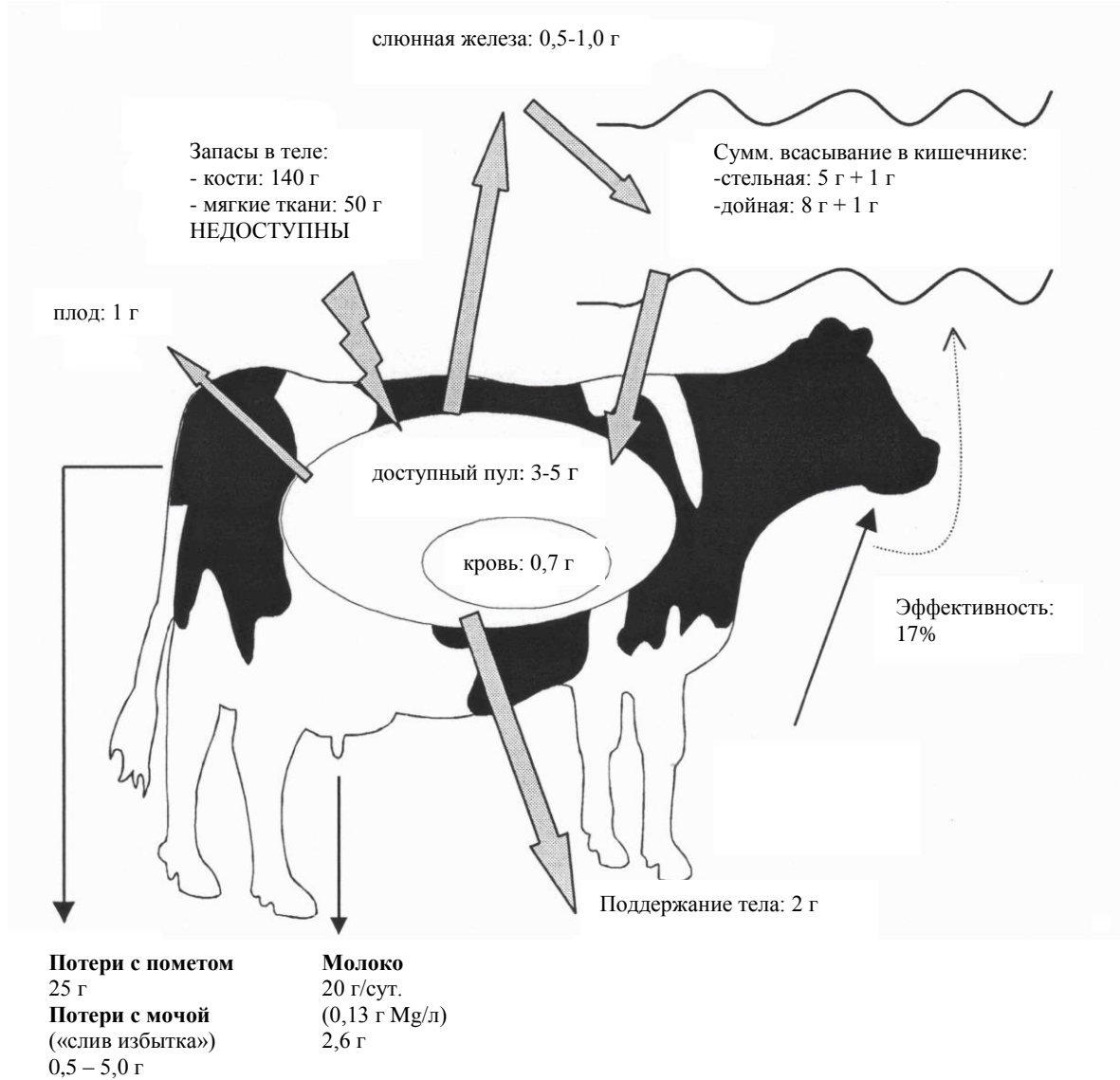
костных жидкостей отделяется от внеклеточных жидкостей организма синцитиумом (соклетием) выстилающих костных клеток (Wasserman, 1984).



**Рисунок 2.** Механизм адаптации организма коровы к изменениям потребления кальция. Адаптировано по данным Horst (1986) и Chamberlain & Wilkinson (1996).



**Рисунок 3.** Регуляция метаболизма кальция у коровы с ЖМ 600 кг. Адаптировано по данным Allen & Sansom (1985), Reinhardt et al. (1988), AFRC (1991) и Chamberlain & Wilkinson (1996). КТ – кальцитонин.



**Рисунок 4.** Регуляция метаболизма магния у коровы с ЖМ 600 кг. Адаптировано по данным Reinhardt et al. (1988) и Chamberlain & Wilkinson (1996).

Гомеостаз магния контролируется равновесием между его всасыванием в кишечнике и экскрецией почками. Первичная гормональная регуляция концентрации магния в крови отсутствует. Метаболизм магния отличается от метаболизма кальция также тем, что скелет не является его мобильным депо. Регуляция концентрации магния в крови во время гипомагниемии (дефицита магния) полностью зависит от суточного потребления магния (Caren & Rosol, 1989). Линейная зависимость между потреблением магния с кормом и его концентрацией в крови, даже если его потребление превышает потребность (Chester-Jones et al., 1990), свидетельствует о том, что метаболизм магния контролируется организмом не так жестко, как метаболизм кальция (см. Рис. 3 и 4).

### Экскреция кальция и магния

Экскреция кальция через помет и мочу в целом играет лишь небольшую роль в гомеостазе кальция. Почки у коров очень эффективно «отфильтровывают» кальций, и порядка 99% отфильтрованного в почках кальция подвергается реабсорбции, т.е. вновь возвращается в оборот. Поэтому экскреция кальция с мочой у коров невелика (Georgievskii et al., 1982; Finco, 1989). С пометом выводится только та часть кальция, которая секретируется в пищеварительный тракт и не подвергается там реабсорбции. Экскреция кальция с пометом также невелика, и ее не регулирует ни одна железа внутренней секреции. Более того, на экскрецию кальция с пометом не оказывает влияния даже значительное снижение потребления кальция с кормом или устойчиво низкий кальциевый статус организма коровы, на уровне 16 мг Са/кг ЖМ (AFRC, 1991). Взрослая нестельная и недоенная корова с ЖМ 600 кг для поддержания кальциевого баланса должна усваивать 9,6 г Са в сутки.

За контроль содержания в плазме крови магния отвечают почки (Finco, 1989), так как специфических магниевых-регулирующих гормонов нет (Caren & Rosol, 1989). Избыток магния экскретируется почками и выводится с мочой. Почечный порог содержания магния в плазме крови составляет менее чем 0,74-0,82 ммоль/л, что может приводить к почти полной консервации магния в почках. Экскреция магния с пометом оценивается на уровне 3 мг/кг ЖМ коровы, тогда как экскреция с мочой в норме почти равна нулю (ARC, 1980). Взрослая нестельная и недоенная корова с ЖМ 600 кг для поддержания магниевых баланса должна усваивать 1,8 г Mg в сутки.

Каждый килограмм молока с жирностью 4% содержит в среднем 1,22 г кальция. Содержание кальция в молоке положительно коррелирует с содержанием в нем казеина (ARC, 1980). После отела корова может выделять 23 г кальция в 10 кг молозива в сутки. Это в среднем в 7 раз больше общего содержания кальция в крови коровы (Underwood & Suttle, 1999). Среднее содержание в молоке магния составляет 0,11 г/кг молока (Tuori et al., 2000). При суточном удое в 30 кг потери магния с молоком составляют 3,3 г/сут. Концентрации кальция и магния в молоке относительно постоянны, даже в условиях снижения их потребления с кормом (Rook & Storry, 1962; Jennes, 1985). Недостаточное снабжение магнием молочной железы может вызывать снижение удоя, даже при отсутствии прочих клинических симптомов гипомagneзиемии (Dua & Care, 1985).



## Использование кальция и магния

### Кальций

Доступность кальция корма для коров разными рекомендациями по кормлению оценивалась по-разному: 35% (INRA, 1978; 1989), 37% (ARC, 1965), 38% (NRC, 1989), 45% (NRC, 1978) или даже 68% (ARC, 1980). На эффективность абсорбции (всасывания) кальция в тонком кишечнике оказывают влияние разные факторы. Во-первых, эффективность всасывания кальция зависит от его потребления, т.к. кальций может всасываться организмом жвачных селективно, в зависимости от потребности в нем организма. Снижение потребления кальция с кормом ведет к повышению эффективности его всасывания (Braithwaite, 1974). Однако доступность кальция из разных фуражных культур различна. Так, сообщалось, что доступность для молодняка и взрослых овец кальция из соломы составляет 0% (Braithwaite, 1975); для кормящих овцематок из пастбищной травы – 17-18% (Chisp et al., 1989); для высокопродуктивных дойных коров из люцернового сена – 26% и из люцерно-кукурузного силоса – 42% (Martz et al., 1990); для стельных коров из кукурузного силоса – 34-43% (Martz et al., 1999).

Кальций из неорганических источников используется лучше, чем из органических. Доступность кальция из кормов снижают содержащиеся в них кальций-связывающие вещества, такие как оксалаты (Ward et al., 1979). Клеточные стенки бактерий рубца способны связывать кальций и магний и, следовательно, тоже снижать всасывание этих элементов из корма (Fitt et al., 1974). При этом добавка лактозы может повышать кажущееся всасывание кальция у овец (Rayssiguier & Poncet, 1980).

Взаимодействие минеральных веществ между собой также может влиять на всасывание и использование каждого из них. Например, кальций может взаимодействовать с фосфором, магнием, марганцем и цинком (Underwood & Suttle, 1999). Использование кальция может ухудшаться при избыточном потреблении фосфора и магния (Chicco et al., 1973), а также алюминия (Allen, 1984). При этом высокое потребление кальция с кормом может снижать концентрации магния в костях и плазме крови, повышать экскрецию фосфора с пометом (Chicco et al., 1973) и увеличивать потребность организма в марганце (Underwood & Suttle, 1999). Кальциевый статус, т.е. концентрация кальция в плазме крови, может повышаться при добавлении в рацион натрия или при использовании на пастбище натриевых удобрений (Phillips et al., 2000). Суточное потребление фосфора нелактующей коровой на уровне 14 г P/сут. может приводить к снижению переваримости кальция, причем это снижение не купируется добавкой в рацион витамина D<sub>2</sub> (Hibbs & Conrad, 1983). Рационы с уровнями кальция

выше или ниже 0,8% в расчете на 1 кг потреблённого СВК может снижать кажущееся всасывание селена у сухостойных коров (Harrison & Conrad, 1984).

Показано, что интенсивность процессов, связанных с метаболизмом кальция, включая минерализацию костной ткани, значительно снижается с возрастом (Braithwaite & Riazuddin, 1971). Возраст оказывает значительное влияние на способность тонкого кишечника справляться с кальциевым стрессом. Старые животные менее адекватно повышают эффективность всасывания кальция в ответ на кальциевый стресс по сравнению с молодыми (Braithwaite, 1975). Сообщалось также, что у молодых животных по сравнению со старыми выше концентрация  $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$  (Horst & Littledike, 1982). Согласно данным Shappell et al. (1987), первотелки, в отличие от более старых коров, способны поддерживать гомеостаз кальция после отела при скормливания им перед отелом избыточного (1,16%) количества кальция.

## **Магний**

Согласно данным одного весьма основательного литературного обзора (Henry & Bentz, 1995), кажущаяся доступность магния из свежей травы или сена для крупного рогатого скота варьирует от -4 до +40%. Магний из зерновых и концентратов более доступен для КРС, чем из фуражных кормов (Peeler, 1972). В британских рекомендациях по кормлению (ARC, 1980) предлагалось при дозировании кормов по магнию использовать величину общей доступности этого элемента из корма на уровне 17% (с учетом коэффициента запаса); в 1965г. этот показатель в их же рекомендациях составлял 20%. Во французских рекомендациях (INRA, 1978; 1989) этот показатель предлагалось считать равным 25%.

Гомеостаз магния не контролируется гормонально, и любой дисбаланс по магнию немедленно отражается на его концентрации в плазме крови. Поэтому эта концентрация является вполне адекватным индикатором магниевоего статуса (ARC, 1980; Payne & Payne, 1987). Однако поскольку ключевую роль в гомеостазе магния играют почки, то лучшим показателем доступности магния из рациона является его концентрация в моче (Ammerman et al., 1972).

На всасывание магния в рубце и сетке оказывают влияние несколько факторов. Высокое потребление калия снижает использование магния рациона у стельных коров (Schonewille et al., 1997), мясных бычков (Greene et al., 1983a) и овец (Newton et al., 1972; Greene et al., 1983b,c; Poe et al., 1985; Fredeen, 1990; Khorasani & Armstrong, 1990) на определенную постоянную величину, не зависящую от уровня потребления магния (Ram et al., 1998). Как природный, так и добавленный в рационы калий в равной мере

ингибируют абсорбцию магния (Schonewille et al., 1999a). Влияние добавки калия в рационы на всасывание магния зависит от формы дачи калия: так, ввод калия в форме гидрокарбоната или цитрата снижал абсорбцию магния, а в форме хлорида – нет (Schonewille et al., 1999b). Повышенное содержание азота в весенней быстрорастущей пастбищной траве ухудшало всасывание магния вследствие повышения концентрации в рубце аммиака ( $\text{NH}_3$ ); это повышение объясняется легкостью ферментации белков из молодой травы (Chamberlain & Wilkinson, 1996). Резкие увеличения концентраций аммиака в рубце ухудшали всасывание магния лишь на последующие 2-3 дня; следовательно, они не оказывали какого-либо значительного влияния на метаболизм магния, так как и после этих 2-3 дней концентрации аммиака в рубце оставались повышенными (Gäbel & Martens, 1986). Использование магния может также ухудшаться при избыточном потреблении кальция (Chicco et al., 1973; Fredeen, 1990), фосфора (Schonewille et al., 1994a) и алюминия (Allen, 1984).

Всасывание магния можно улучшить добавкой в рацион крахмала (Giduck & Fontenot, 1987), если его содержание до этого было недостаточным (Schonewille et al., 1999c). Усвоение магния также улучшается при добавлении в рацион растворимых углеводов, таких как глюкоза, сукроза и лактоза (Madsen et al., 1976; Giduck & Fontenot, 1987): эти добавки снижают рН содержимого рубца, что повышает растворимость солей магния. Натриевые удобрения для пастбища или дополнительная дача натрия коровам в пастбищный период улучшали их магниевый статус, что подтверждалось повышением концентрации магния в плазме крови и экскреции магния с пометом (Phillips et al., 2000).

На поддержание гомеостаза магния также оказывает влияние возраст коров. У старых коров магний менее эффективно сохраняется почками и, следовательно, нормальная концентрация магния в плазме крови у них поддерживается тоже менее эффективно по сравнению с более молодыми животными (Deetz et al. 1982). Field et al. (1986) сообщали об отсутствии достоверных межпородных различий у овец по эффективности всасывания магния, а Chavez et al. (1988) не обнаружили таких различий между симментальскими и абердинскими коровами.

### **Молочная лихорадка (парез)**

Молочная лихорадка (послеродовой парез) является самым распространенным метаболическим расстройством и 4-м по частоте встречаемости заболеванием КРС в Финляндии. По данным 1999г., частота случаев молочной лихорадки, требующей лечения,

составляет 9%. Эта болезнь случается вскоре после отела и связана с началом лактации, когда значительно повышается потребность организма коровы в кальции (Jorgensen, 1974; Braithwaite, 1976; Littledike et al., 1981; Allen & Sansom, 1985; Horst, 1986). Почти все случаи происходят в промежутке между 24 и 48 ч после отела (Allen & Sansom, 1985). Непосредственно перед и сразу после отела у коровы происходит сильное снижение концентраций общего и ионизированного кальция в плазме крови. В то же время концентрации в плазме крови магния могут, наоборот, повышаться, как бы зеркально отражая изменения концентраций кальция. У парезных коров концентрация общего кальция в плазме крови опускается ниже 1,25 ммоль/л (Barton et al. 1981). Существует несколько теорий по поводу этиологии этой болезни. Согласно одной из них (Goff et al., 1989), у таких коров, несмотря на высокие концентрации ПТГ, не происходит синтеза достаточного количества 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>. Выявлено также несколько факторов предрасположенности к этой болезни.

Один из важнейших кормовых факторов в этиологии молочной лихорадки – это содержание в корме кальция. В ряде работ было показано, что низкое потребление кальция перед отелом может давать более высокую концентрацию кальция в плазме крови при отеле, чем высокое потребление перед отелом (Goings et al., 1974; Wiggers et al., 1975; Yarrington et al., 1977; Green et al., 1981; Kichura et al., 1982; Braak, van de, et al., 1984). Для профилактики пареза рекомендованы уровни потребления кальция для периода стельности менее 20 г Ca/сут. (Green et al., 1981; Kichura et al., 1982) или менее 25 г/сут. (Breukink, 1993). Сообщалось также, что высокие уровни потребления кальция (свыше 100 г/сут.) повышали частоту родового пареза (Jorgensen, 1974; Kichura et al., 1982), но не всегда (Jönsson et al., 1980; Curtis et al., 1984); например, это повышение было выражено слабее, если коровы получали добавки анионов (Oetzel et al., 1988). В южных регионах Финляндии содержание кальция в фуражных кормах выше, чем в других регионах страны, из-за глинистых почв. Поэтому частота молочной лихорадки там несколько выше, чем в центральной или северной частях страны (Health recording data, 1999).

Высокие уровни фосфора в рационах перед отелом (свыше 80 г P/гол./сут.) также могут вызывать молочную лихорадку (Julien et al., 1977). Низкое потребление фосфора в период стельности может более эффективно предотвращать парез, чем низкое потребление кальция (Curtis et al., 1984). Например, в исследовании Romo et al. (1991) низкое потребление с кормом кальция (51 против 115 г/сут.) и высокое – фосфора (38 против 52 г/сут.) при введении в корм анионных солей (КАБК +230 против -80 мэкв/кг СВК, рассчитан по формуле Na+K-Cl) не предотвращало послеродовой парез, что, по мнению авторов, было обусловлено именно высоким потреблением фосфора.

Рекомендуемое соотношение Са:Р для снижения частоты случаев послеродового пареза приблизительно составляет 2,3:1. При снижении этого соотношения с 2,3:1 до 1:1 частота пареза повышается (Gardner & Park, 1974). Соотношение этих элементов может быть даже более эффективным средством контроля пареза, чем потребление этих элементов (Gardner & McKellan, 1972), хотя это соотношение не всегда является главным фактором в развитии пареза (Beitz et al., 1974). Согласно данным Jonsson (1978), эксперименты с разными уровнями соотношения Са:Р у стельных коров дали противоречивые и неоднородные результаты. Итак, соотношение Са:Р в рационе, возможно, имеет лишь небольшое значение для профилактики молочной лихорадки, и абсолютное потребление кальция всегда будет являться более важным фактором, чем это соотношение.

Магний также может играть роль в профилактике молочной лихорадки. В ряде работ было показано, что если потребление магния слишком низкое, то риск пареза возрастает (Allen & Davies, 1981; Whitaker & Kelly, 1982; Barber et al., 1983; Braak, van de, et al., 1987). Если концентрация магния в плазме крови падает ниже 0,85 ммоль/л, частота пареза повышается (Sansom et al., 1983), поскольку уровень мобилизации кальция из костяка снижается (Contreras et al., 1982). Дефицит магния ингибирует действие ПТГ, стимулирующего мобилизацию кальция из костяка (Sansom et al., 1983; Breukink, 1993). При снижении концентрации магния в крови снижается эффективность процесса превращения витамина D<sub>3</sub> в 25-(ОН)D<sub>3</sub> (Chamberlain & Wilkinson, 1996). Недавно Goff & Horst (1997) показали, что уровень калия в корме в стельный период является более важным фактором риска послеродового пареза, чем концентрация кальция. Калий, сильный катион, индуцирует метаболический алкалоз, снижающий способность организма коровы поддерживать гомеостаз кальция.

Показано, что для профилактики молочной лихорадки могут использоваться метаболиты витамина D<sub>3</sub> (Olson et al., 1973), синтетические аналоги витамина D<sub>3</sub> (Sachs et al., 1977; Var et al., 1980) или комбинация синтетических аналогов витамина D<sub>3</sub> (Hodnett et al., 1992); это связано с тем, что данный витамин стимулирует всасывание кальция в тонком кишечнике и его мобилизацию из костяка с участием ПТГ. Однако в некоторых случаях при вводе в корма добавок препаратов витамина D<sub>3</sub> концентрация кальция в крови снижается (Sachs et al., 1977; Var et al., 1980; Hodnett et al., 1992); по другим данным, после ввода в корм добавки этого витамина частота пареза все равно остается высокой или даже ухудшается при высоких уровнях ввода витамина в рацион (Littledike & Horst, 1982). Одно из возможных объяснений этого явления – ингибиторное действие витамина D и его метаболитов на почечную 1 $\alpha$ -гидроксилазу, фермент, стимулирующий

образование активного метаболита 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> из менее активного 25-(ОН)D<sub>3</sub>. Получавшие добавки витамина D коровы были не в состоянии синтезировать эндогенный 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> и, следовательно, не могли эффективно справляться с гипокальциемией (Horst et al., 1997).

Роль эстрогенов в этиологии молочной лихорадки противоречива. Эстроген стимулирует рост костей и, таким образом, уменьшает резорбцию кальция из костяка; считается, что высокий уровень эстрогена у коров при отеле способствует повышению риска пареза. У парезных коров отмечены более высокие уровни эстрогена в плазме крови по сравнению со здоровыми (Hollis et al., 1981); отмечено, что концентрации эстрадиола в плазме крови отрицательно коррелируют с концентрациями в ней ионного кальция (Pyörälä et al., 1992). Однако есть также данные о том, что концентрации эстрогена при парезе снижаются (Sasser et al., 1979). Согласно Bargeloh et al. (1975), эстрогены снижают потребление корма, что может повышать риск возникновения пареза.

Состояние тела у коров за 4-2 недели до отела должно быть не слишком ожиренным и не слишком постным. Многие исследователи отмечали, что у коров с избыточным весом при отеле частота гипокальциемии или молочной лихорадки выше (Morrow, 1976; Fronk et al., 1980; Herdt, 1988; Andrews et al., 1991). По данным Harris (1981), у коров с баллом состояния тела больше 4 (при 8-балльной шкале оценки) частота послеродового пареза резко повышается. Низкое потребление корма, свойственное коровам с избытком веса при отеле, может снижать поступление в организм доступного кальция, причем именно в то время, когда потребность в кальции возрастает. Следовательно, ожиренные к сроку отела коровы больше подвержены риску гипокальциемии, чем нормальные (Rukkamsuk et al., 1999). Избытка веса можно избежать либо снижением содержания энергии в рационе, либо с помощью ограниченного кормления в позднестельный период (Jorgensen, 1974).

Важнейший не-кормовой фактор риска молочной лихорадки – это возраст коров. Известно, что частота пареза повышается с возрастом (Jonsson, 1978; Harris, 1981; Dorp et al., 1999), особенно после 3-го и более отелов (Curtis et al., 1984). С каждым отелом у коров увеличивается удой, что приводит к повышению потребности в кальции. У более старых коров снижается эффективность мобилизации кальция из костного депо (Ramberg et al., 1976) и его транспорта из тонкого кишечника (Horst et al., 1990), а также снижается синтез 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> (Horst & Littledike, 1982).

Джерсейские коровы более подвержены парезу, чем другие породы коров (Erb & Martin, 1978; Harris, 1981). Точная причина этого явления неизвестна, хотя одним из факторов этой предрасположенности может являться высокая молочная продуктивность

этой породы в сочетании со сравнительно небольшим размером тела. Согласно Goff et al. (1995a), у джерсейских коров по сравнению с голштинскими в кишечнике меньше рецепторов  $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ , т.е. кишечник джерсейских коров менее чувствителен к этому витамину и, следовательно, хуже всасывает кальций из корма.

Риск молочной лихорадки повышается при повышении молочной продуктивности стада коров. Для финских айрширских коров коэффициент наследуемости пареза был оценен на уровне от 3,5 до 10,5%. Сезонной периодичности этой болезни у коров не обнаружено (Gröhn et al., 1986). Риск молочной лихорадки повышают другие послеродовые болезни, такие как задержка отделения плаценты, метрит и клинический кетоз во время прошлой лактации (Erb & Grohn, 1988).

### Катионно-анионный баланс корма (КАБК)

#### Определение, расчет и дозирование КАБК

Показатель КАБК определяет соотношение в корме некоторых фиксированных ионов. Обычно КАБК определяется как разность суммы концентраций катионов калия и натрия и суммы концентраций хлорид- и сульфид-анионов:  $[(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{2-})]$ , в миллиэквивалентах на 1 кг СВК. Катионы, такие как  $\text{Na}^+$  или  $\text{K}^+$ , являются алкалогенными (т.е. подщелачивают кровь), а анионы, такие как  $\text{Cl}^-$  или  $\text{S}^{2-}$ , являются ацидогенными (подкисляют кровь). При снижении показателя КАБК наблюдается одно или несколько из следующих изменений показателей крови коров: повышение концентрации ионов водорода ( $\text{H}^+$ ); снижение концентрации бикарбонат-анионов ( $\text{HCO}_3^-$ ); снижение pH. Это подкисление крови приводит к снижению pH мочи и концентрации в ней бикарбонат-анионов, что является компенсаторным механизмом (Block, 1994).

Варьирование показателя КАБК ранее использовали для профилактики молочной лихорадки у коров (см. **Табл. 10**) и для оптимизации роста молочных телят (Jackson et al., 1992; 1994), растущих ягнят (Fauchon et al., 1995), свиней (Golz & Crenshaw, 1991) и птицы (Mongin, 1981; Summers & Bedford, 1994). Кроме того, КАБК использовали для испытания выносливости скаковых лошадей (Poppewell et al., 1993; Cooper et al., 1998) и растущих жеребят (Cooper et al., 1995).

Показатель КАБК в разных источниках иногда называют по-разному: анионный дефицит, кормовой баланс электролитов, катион-анионная разность, баланс сильных ионов, разность постоянных ионов (Block, 1994; Byers, 1994). Кроме того, для его расчета использовались разные формулы, например:  $(0,38 \text{ мэкв Ca/кг} + 0,3 \text{ мэкв Mg/кг} + \text{мэкв Na/кг} + \text{мэкв K/кг}) - (\text{мэкв Cl/кг} + 0,6 \text{ мэкв S/кг})$  (Horst et al., 1997); или  $(\text{Na}+\text{K}) - (\text{Cl}+\text{S}+\text{P})$

(Lomba et al., 1978); или (Na+K+Mg) - Cl (Waterman et al., 1991); или (Na+K) - Cl (Tucker et al., 1988; Gaynor et al., 1989; Romo et al., 1991). Однако большинство авторов согласно в том, что для позднестельного рациона коров наиболее подходящей формулой будет (Na+K) - (Cl+S). Это уравнение имеет наиболее высокую корреляцию с частотой случаев молочной лихорадки (Oetzel, 1991).

Для расчета КАБК рациона требуются молекулярные массы эквивалентов электролитов, поскольку этот показатель связан скорее с зарядом ионов, чем с их абсолютной массой. Молекулярная масса эквивалента равно молекулярной (или атомной) массе электролита, деленной на его заряд (или валентность). В данной работе КАБК рассчитывали по формуле:  $[(\text{Na}\% / 0,0023) + (\text{K}\% / 0,0039)] - [(\text{Cl}\% / 0,00355) + (\text{S}\% / 0,0016)]$ , мэкв/кг СВК (West, 1983; Olson, 1991; Oetzel, 1993; Byers, 1994) (см. Табл. 1).

**Таблица 1.** Молекулярные массы анионов и катионов, массы их эквивалентов и коэффициенты пересчета из процентного содержания в рационе в мэкв/кг для расчета КАБК (Oetzel, 1993)

Элемент	Мол. масса, г	Масса эквивалента		Валентность	Коэф. пересчета
		г	мг		
Na <sup>+</sup>	23,0	23,0	0,023	1	435
K <sup>+</sup>	39,1	39,1	0,039	1	256
Ca <sup>2+</sup>	40,1	20,1	0,020	2	499
Mg <sup>2+</sup>	24,3	12,2	0,012	2	823
Cl <sup>-</sup>	35,5	35,5	0,035	1	282
S <sup>2-</sup>	32,1	16,1	0,016	2	624
P <sup>3-</sup>	31,0	10,3	0,103	1,8	968

Для повышения содержания анионов в корме можно использовать разные соли (см. Табл. 2 и 3). Обычно используют хлорид NH<sub>4</sub>Cl и сульфат (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> аммония и хлорид магния MgCl<sub>2</sub>; использовали также сульфат магния MgSO<sub>4</sub>, хлорид CaCl<sub>2</sub> и сульфат CaSO<sub>4</sub> кальция. Ни одна из этих солей не обладает преимуществом перед другими по своей закисляющей способности (Oetzel et al., 1991); как профилактические средства против молочной лихорадки все они примерно одинаковы. Фосфаты используют редко, так как их повышенное содержание в кровотоке может угнетать синтез 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> в почках (Tanaka & Deluca, 1973), что вместо профилактики пареза, наоборот, повышает риск его возникновения (Kichuga et al., 1982). Для снижения потенциальной токсичности небелкового азота, сульфат-анионов и магния, входящих в состав этих солей,



рекомендовано использовать их различные комбинации. Разные исследователи приводят разные дозировки анионных солей, необходимые для профилактики молочной лихорадки (см. **Табл. 2**); уровни их ввода в корма начинаются с 2-3 экв/гол./сут. В дозах менее 2 экв/гол./сут. все эти анионные соли нетоксичны для коров (Oetzel et al., 1991; см. **Табл. 3**).

**Таблица 2.** Сравнение анионных солей, их дозировок и способов ввода в рацион в разных исследованиях

Соли	Доза, экв/гол./сут.	Способ ввода	Источник
CaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub>		в ячменный концентрат	Abu Damir et al., 1994
смесь разл. солей	2,3	минер. премикс в ПРК	Block, 1984
NH <sub>4</sub> Cl	0,2 г/сут./кг ЖМ	порошок с концентратом	Braithwaite, 1972
смесь разл. солей	2,2 или 3,0		Dishington, 1975
NH <sub>4</sub> Cl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub>	2,2	минер. премикс в ПРК	Gaynor et al., 1989
NH <sub>4</sub> Cl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub>	4,4	минер. премикс в ПРК	Goff et al., 1991
CaCl <sub>2</sub> , MgSO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> Cl		минер. премикс в ПРК	Goff et al., 1995
MgSO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, CaCl <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub>		ПРК	Goff & Horst, 1997
смесь разл. солей		минер. премикс	Leclerc & Block, 1989
KCl, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		порошок с концентратом	Mosel, van, et al., 1993
KCl, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		порошок с концентратом	Mosel, van, et al., 1994
NH <sub>4</sub> Cl, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,4	порошок в концентрате и ПРК	Oetzel et al., 1988
MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , MgCl <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	порошок в ПРК	Oetzel et al., 1991
MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,32	порошок или гранулы	Oetzel & Barmore, 1993
CaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub>		в ячменный концентрат	Phillippo et al., 1994
NH <sub>4</sub> Cl		минер. премикс в ПРК	Romo et al., 1991
MgCl <sub>2</sub> , MgSO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> Cl	4,5	в гранулир. концентрат	Schonewille et al., 1994c
смесь разл. солей		минер. премикс в ПРК	Takagi & Block, 1991abc
NH <sub>4</sub> Cl, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , MgCl <sub>2</sub>	3	гранулы с концентратом	Tauriainen et al., 1996abcd
CaCl <sub>2</sub>		ПРК	Tucker et al., 1992
NH <sub>4</sub> Cl, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,3	порошок с концентратом	Wang & Beede, 1992a
MgSO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,1	порошок с концентратом	Wang & Beede, 1992b

**Таблица 3.** Свойства анионных солей, используемых для профилактики молочной лихорадки (Oetzel, 1993; West, 1993).

Анионная соль	MgCl <sub>2</sub> (x 6 H <sub>2</sub> O)	MgSO <sub>4</sub> (x 7 H <sub>2</sub> O)	CaCl <sub>2</sub> (x 2 H <sub>2</sub> O)	CaSO <sub>4</sub> (x 2 H <sub>2</sub> O)	NH <sub>4</sub> Cl	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Мол. масса, г	203,3	246,5	147,0	172,2	53,5	132,1
Масса 1 экв	102	123	73,5	86	53,5	66
Масса 2 экв	204	246	147	172	107	132
Масса 3 экв	306	369	220,5	258	160,5	198
% Mg	11,96	9,86	-	-	-	-
% Ca	-	-	27,26	23,28	-	-
% Cl	34,87	-	48,22	-	66,26	-
% S	-	13,01	-	18,62	-	24,26

**Таблица 4.** Нормальный кислотно-основный и минеральный статус коров

<b>Кровь</b> (Radostits et al., 1994):	pH	7,35 – 7,50
	парциальное давление CO <sub>2</sub> (мм рт. ст.)	34 – 45
	парциальное давление CO <sub>2</sub> (кПа)	4,53 – 6,00
	концентрация HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (моль/л)	20 – 30
<b>Моча</b> (Kaneko, 1989):	pH	7,4 – 8,4
<b>Плазма крови, ммоль/л</b> (Kaneko, 1989):	Na <sup>+</sup>	135 – 151
	K <sup>+</sup>	3,9 – 5,8
	Cl <sup>-</sup>	95 – 110
	Ca	2,11 – 2,75
	Mg	0,50 – 1,10

Обычно рационы для позднестельного периода являются алкалогенными, и их показатели КАБК варьируют между +50 и +300 мэкв/кг СВК. Значение КАБК можно считать адекватным, если оно одновременно и безопасно, и эффективно предотвращает возникновение пареза. Безопасными можно считать значения КАБК, не вызывающие сильных изменений кислотно-основного статуса крови и не «выбивающие» его за границы нормы (см. **Табл. 4**); такие значения КАБК не вызывают у коров опасного уровня метаболического ацидоза, при том, что умеренный ацидоз считается в принципе приемлемым. Эффективными являются значения КАБК, влияющие на метаболизм кальция так, чтобы поддерживать стабильной концентрацию кальция в крови ко времени отела и, таким образом, эффективно предотвращать молочную лихорадку. Для определения уровня ввода в корма анионных солей также можно использовать как

индикатор значение рН мочи (Jardon, 1995). Рекомендуемый в литературе оптимум этого последнего показателя варьирует от 6-7 (Jardon, 1995) до 5,5-6,2 (Horst et al., 1997). Вероятно, закисление можно все-таки считать избыточным, если рН мочи опускается ниже 5,5-6,0 (Jardon, 1995; Horst et al., 1997).

**Таблица 5.** КАБК в анионных и катионных группах различных опытов и его влияние на рН мочи

КАБК, мэкв/кг СВК	рН мочи в группах:		Источник
	анионной	катионной	
+779, -35	н/опр.		Abu Damir et al., 1994
+449, -172	н/опр.		Block, 1984
NH <sub>4</sub> Cl, 0,2 г/сут./кг ЖМ	8,2	5,8	Braithwaite, 1972
+482, +327	8,68	8,51	Delaquis & Block, 1995
+1258, +599, +220	н/опр.		Gaynor et al., 1989
+978, -228	8,3	7,2	Goff et al., 1991
+318, +337, +134	н/опр.		Goff et al., 1995b
+461, +436, +408, +222, +202, -54, -98	7,92; 8,16	5,75	Goff & Horst, 1997
+394, +121, +105, +62	н/опр.		Leclerc & Block, 1989
+573, -4	8,34; 8,53	7,42; 6,67	Mosel, van, et al., 1993
+573, -4	н/опр.		Mosel, van, et al., 1994
+189, -75	н/опр.		Oetzel et al., 1988
-4, -169 - -175	8,10	7,39-7,96	Oetzel et al., 1991
+313, +113 + -109	н/опр.		Oetzel & Barmore, 1993
+534, +539, -8, -59	н/опр.		Phillippo et al., 1994
+230, -80	н/опр.		Romo et al., 1991
+276, -170	8,68	7,97	Schonewille et al., 1994c
+342,+284, +61, -27	н/опр.		Takagi & Block, 1991a
+339, +35, -127, +429, +68, -147	н/опр.		Takagi & Block, 1991b
+354, +125, +32	н/опр.		Takagi & Block, 1991c
+90, -300	7,86	6,55	Tucker et al., 1992
+69, -428	7,88	5,93	Wang & Beede, 1992a
-289, -302	-	6,06; 6,14	Wang & Beede, 1992b

Согласно многим исследованиям (см. **Табл. 5**), для эффективного подкисляющего эффекта значение КАБК должно быть отрицательным. К сожалению, было также показано, что значение КАБК коррелирует со значением рН мочи нелинейно. Поэтому, например, в одном случае (Mosel, van, et al., 1993) КАБК, равный -4 мэкв/кг СВК,

приводил к снижению рН мочи ниже 7; тогда как в другом случае (Schonewille et al., 1994c) КАБК, равный -170 мэкв/кг СВК, поддерживал рН мочи на уровне 7,97. Самое низкое приведенное в литературе значение КАБК, рассчитанное по формуле  $(Na + K) - (Cl + S)$ , составило -428 мэкв/кг СВК (Wang & Beede, 1992a); оно приводило лишь к умеренному метаболическому ацидозу и способствовало повышению концентрации в крови ионизированного кальция (+69 мэкв/кг СВ).

#### Аппетитность анионных солей для коров

Одна из самых важных практических проблем, связанных с анионными солями – их неаппетитность, непривлекательность для коров. Добавление в корм анионных солей может вызывать у коров снижение потребления концентрата, на величину до 48% от предложенного им количества СВК (Oetzel & Varmore, 1993). Кроме того, добавка солей может снижать также потребление сена (Horst & Jorgensen, 1974). Если ввести в рацион соли аммония, то коровы дольше едят свою суточную норму корма (Wang & Beede, 1992a). В условиях промышленного молочного животноводства подобные ситуации неприемлемы. В исследовании Oetzel & Varmore (1993) концентрат с добавкой сульфата магния съедался коровами почти полностью, тогда как хлорид аммония и хлорид кальция наполовину ухудшали поедаемость концентрата. При скармливании раз в день в составе полнорационного корма (ПРК) все изученные Oetzel et al. (1991) анионные соли ( $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $NH_4Cl$ ,  $(NH_4)_2SO_4$ ) поедались удовлетворительно. Однако по наблюдениям Goff et al. (1991) все анионные соли заметно ухудшали поедаемость корма, даже при включении их в состав ПРК. В большинстве опытов (см. **Табл. 3**) анионные соли давались в виде порошка, примешанного к концентрату или ПРК, и лишь в небольшом количестве опытов их давали в виде гранулированной добавки к концентрату.

#### Влияние КАБК на метаболизм кальция

##### **Всасывание кальция**

При скармливании коровам обогащенного анионами рациона было отмечено улучшение кажущейся абсорбции кальция в кишечнике; этот вывод был сделан на основании повышения экскреции кальция с мочой (Schonewille et al., 1994c). В исследовании Lomba et al. (1978) добавка анионных солей улучшала всасывание кальция, но только при положительном кальциевом балансе. Результаты этого исследования сложно сравнивать с современными, так как данные авторы в формулу расчета КАБК вводили также и фосфор. Данные названных авторов противоречат результатам других

исследований (Leclerc & Block, 1989; Takagi & Block, 1991a), не обнаруживших улучшения всасывания кальция при добавлении в корма анионных солей.

Влияние анионных солей на метаболизм кальция изучали также и на других видах животных. В одном исследовании, проведенном на валухах (кастрированных барашках, Braithwaite, 1972), ввод в их рацион хлорида аммония улучшало всасывание кальция в кишечнике, тогда как в другом исследовании (Takagi & Block, 1991a) таких изменений обнаружено не было. В исследовании на козах (Vagg & Payne, 1970) умеренный метаболический ацидоз, вызванный добавкой в рацион хлорида аммония, повышал всасывание кальция в пищеварительном тракте, однако не у всех опытных животных. В другом исследовании на козах метаболический ацидоз, вызванный КАБК -21 мэкв/кг СВК (КАБК рассчитывали по формуле  $\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}$ ), также повышал всасывание кальция (Fredeen et al., 1988b).

Вопрос о влиянии потребления кальция на уровень его всасывания из рационов, обогащенных анионными солями, до сих пор остается открытым. Согласно данным Schonewille et al. (1994b), ввод дополнительного количества кальция в обогащенный хлорид-анионами рацион для сухостойных яловых коров не повлиял на абсолютное количество кальция, абсорбированное в пищеварительном тракте. Потребление кальция в опытной группе было в 1,8 раза больше, чем на низкокальциевом рационе, однако всасывание кальция оставалось неизменным. Отсюда можно заключить, что эффективность всасывания кальция через кишечную мембрану на низкокальциевом рационе была выше, чем на высококальциевом. Авторы делают вывод, что для профилактики пареза рационы для позднестельного периода, обогащенные анионными солями, должны быть низкокальциевыми. Однако Fredeen et al. (1988a), наоборот, считают, что в подкисленных рационах (с КАБК, вычисленным как  $(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/100\text{г}$  СВК, менее 10) предпочтительны повышенные уровни кальция. По-видимому, метаболический кислотно-основной баланс всё же более важен в этиологии молочной лихорадки, чем уровень кальция в предродовом рационе.

На основании литературных данных пока сложно определить влияние КАБК на всасывание кальция. Вероятно, это влияние является лишь малозначимым фактором в метаболизме кальция у коров на рационах с низким КАБК, и даже самые последние исследования не дали по этому поводу какого-либо определенного ответа.

### **Кальций в крови**

Многие авторы сообщали, что скормливание перед отелом рационов с низким КАБК повышает концентрацию ионизированного кальция в крови при отеле (Wang & Beede, 1992a; Abu Damir et al., 1994; Phillippo et al., 1994; Joyce et al., 1997). Согласно ряду

исследований (см. **Табл. 6**), концентрация кальция в крови до и после отела при этом также остается более стабильной. При высоком КАБК концентрация общего кальция в крови, наоборот, резко снижается. Скармливание коровам избыточных количеств анионных солей вызывает у них метаболический ацидоз (Vagg & Payne, 1970; Horst & Jorgensen, 1974; Won et al., 1996). Метаболический ацидоз может улучшать баланс кальция за счет улучшения всасывания кальция в кишечнике и/или усиления мобилизации кальция из костяка. Согласно Phillippo et al. (1994), на подкисленных рационах у коров одновременно снижались рН и кислотно-основной статус крови, возможно, в результате усиления всасывания в кровь хлорид-анионов, концентрация которых перед отелом была повышенной.

**Таблица 6.** Влияние КАБК на концентрации ионизированного и общего кальция у коров при отеле по данным разных авторов

Общий Са, ммоль/л, на рационе:		Ионный Са, ммоль/л, на рационе:		Источник
катионном	анионном	катионном	анионном	
1,75	2,20	0,86	1,10	Abu Damir et al., 1994
1,60	2,07	н/опр.	н/опр.	Block, 1984
1,58	1,75	н/опр.	н/опр.	Gaynor et al., 1989
1,64	1,90	н/опр.	н/опр.	Goff et al., 1991
1,77 / 1,87	2,00	1,01 / 0,97	1,08	Joyce et al., 1997
1,20	1,51	н/опр.	н/опр.	Leclerc & Block, 1989
2,31	2,40	н/опр.	н/опр.	Mosel, van, et al., 1993
2,31	2,40	н/опр.	н/опр.	Mosel, van, et al., 1994
1,85	2,10	0,89	1,01	Oetzel et al., 1988
н/вл.	н/вл.	1,16 – 1,20	1,20 – 1,28	Phillippo et al., 1994
н/вл.	н/вл.	1,10 – 1,16	1,16 – 1,20	Phillippo et al., 1994
н/вл.	н/вл.	н/опр.	н/опр.	Romo et al., 1991
3,87 мэкв/л	4,24 мэкв/л	н/опр.	н/опр.	Tucker et al., 1992

### Мобилизация кальция из костяка

Считается, что благотворное влияние отрицательного КАБК на метаболизм кальция до и после отела отчасти обусловлено метаболическим ацидозом, усиливающим мобилизацию кальция из скелетного депо. Для оценки мобилизации кальция из костяка у жвачных в разных исследованиях были использованы разные методы. В качестве индикаторных показателей использовались концентрация щелочной фосфатазы в плазме крови (Mosel, van, et al., 1994; Schonewille et al., 1994b); концентрация гидроксипролина в плазме крови (Block, 1984; Gaynor et al., 1989; Goff et al., 1991) и моче (Braak, van de, et al.,

1986a; Takagi & Block, 1991a,c; Mosel, van, et al., 1994; Schonewille et al., 1994b; см. Табл. 7); а также концентрации в моче пиридинолина и дезоксипиридинолина (Abu Damir et al., 1994). Высокая активность щелочной фосфатазы является индикатором активности процесса образования костной ткани, тогда как повышенные концентрации гидроксипролина, наоборот, свидетельствуют о резорбции костей. Пиридинолин и дезоксипиридинолин – это специфические маркеры распада костного коллагена. Кроме названных методов, проводили также гистоморфометрический анализ костной ткани, подсчитывая число остеокластов и остеобластов в биоптатах бугорков тазовой кости (Mosel, van, et al.; 1994). Остеокласты – это костные клетки, которые обычно обнаруживаются в местах резорбции костей. Остеобласты – это костные клетки, участвующие в процессе костеобразования; их всегда можно обнаружить в местах, где образуется новая костная ткань (Wasserman, 1984). В исследовании Won et al. (1996) в губчатой части подвздошной кости определяли содержание кальция, фосфора и магния, объем костной ткани и толщину трабекул. Мобилизацию кальция из костяка также изучали с помощью комбинации балансовых и изотопных методов (Vagg & Payne, 1970; Braitwaite, 1972).

**Таблица 7.** Влияние КАБК на концентрации гидроксипролина у коров при отеле

Проба	Концентрация гидроксипролина, мкг/мл		Источник
	катионный рацион	анионный рацион	
плазма крови	1,9	2,6	Block, 1984
плазма крови	1,61	1,93	Gaynor et al., 1989
плазма крови	1,56	1,95	Goff et al., 1991
плазма крови	2,25 мкг/дл	2,4 / 3,6 / 4,0 мкг/дл	Leclerc & Block, 1989
моча (отн. к креатинину)	н/вл.	н/вл.	Mosel, van, et al., 1994
моча	н/вл.	н/вл.	Schonewille et al., 1994c
моча	н/вл.	н/вл.	Takagi & Block, 1991a

В проведенном Abu Damir et al. (1994) гистоморфометрическом анализе у коров, получавших подкисленный рацион, более значительная часть компактной ламеллярной кортикальной костной ткани превращалась при отеле в губчатую, по сравнению с коровами, получавшими подщелоченный рацион. В плазме крови коров, получавших перед отелом анионные соли, многие исследователи отметили повышение концентрации гидроксипролина (Block, 1984; Gaynor et al., 1989; Leclerc & Block, 1989; Goff et al., 1991). Это, возможно, свидетельствует о том, что анионные соли повышают активность уже существующих остеокластов или стимулируют пролиферацию новых (Goff et al., 1991).

Мобильное депо кальция в костяке коров может быть увеличено на 6 г с помощью индуцированного хлоридом аммония метаболического ацидоза (Vagg & Payne, 1970).

Однако данные многих других исследователей не согласуются с этими многообещающими находками. Между рационами с КАБК -4 против +573 мэкв/кг СВК (Mosel, van, et al., 1994), и с -170 против +276 мэкв/кг СВК (Schonewille et al., 1994с) не обнаружено достоверных различий по общей активности щелочной фосфатазы в крови и по соотношению гидроксипролин/креатинин в моче. Кроме того, гистологические исследования костей, проведенные Mosel, van, et al. (1994), не подтвердили данных, ранее опубликованных Abu Damir et al. (1994). Takagi & Block (1991a) не обнаружили различий по концентрациям гидроксипролина в плазме крови у валухов, получавших обогащенные катионами (+284 и +61 мэкв/кг СВК) или анионами (-27 мэкв/кг СВК) рационы. Только пониженное потребление кальция (0,48%) по сравнению с высоким (0,82%) приводило к повышению концентрации гидроксипролина в плазме крови. Авторы считают, что эти результаты были обусловлены положительным балансом по кальцию у всех опытных животных, в результате чего им не требовалась мобилизация кальция из костяка. В исследовании Won et al. (1996) между группами, получавшими рационы с высоким и низким КАБК с разными уровнями кальция и фосфора, не было обнаружено различий по среднему содержанию кальция, фосфора и магния в губчатой части подвздошной кости.

### **Экскреция кальция с мочой**

Снижение КАБК вызывает заметное повышение содержания кальция и магния в моче (см. **Табл. 8**). Почки жвачных чувствительны к кислотно-основному статусу организма; экскреция почками кальция при ацидозе усиливается, причем независимо от гормонов, обычно участвующих в метаболизме кальция (Stacy & Wilson, 1970). Исследователи объясняют такое усиление экскреции кальция с мочой повышением всасывания кальция в кишечнике (Braitwaite, 1972), усилением резорбции костяка (Leclerc & Block, 1989) или обоими этими факторами вместе (Fredeen et al., 1988b; Gaynor et al., 1989; Abu Damir et al., 1994). Ацидоз поддерживает высокий ток кальция через его заменяемый костный пул, не влияя на размер этого пула. Повышение вывода кальция с мочой – это, своего рода, «метаболическая плата» за повышение способности организма справляться с возросшими во время лактации потерями кальция с молоком (Fredeen et al., 1988b).

### **Гормональная регуляция**

Рационы с низким КАБК оказывают разное влияние на секрецию гормонов, регулирующих метаболизм кальция; однако в большинстве исследований отмечено, что анионные соли больше влияют на концентрацию в крови витамина  $1,25-(\text{OH})_2\text{D}_3$ , чем на



концентрацию ПТГ. Согласно данным Phillippo et al. (1994), концентрация ПТГ перед отелом вообще не менялась. Заметные различия по ПТГ были обнаружены только во время отела и при большой разнице по КАБК (+534 против -8 и +539 против -59 мэкв/кг СВК), и были связаны с различиями по концентрации кальция в плазме крови. Другие авторы также подтверждают отсутствие различий по концентрации ПТГ в плазме крови при кормлении коров подкисленным рационом (Goff et al., 1991; Romo et al., 1991; Phillippo et al., 1994; Won et al., 1996). Однако повышение концентрации в крови 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> в позднестельный период на анионных рационах по сравнению с катионными отмечалось многими авторами (Gaynor et al., 1989; Goff et al., 1991; Abu Damir et al., 1994; Phillippo et al., 1994). Добавление в рацион анионных солей повышает у коров синтез 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>. Неясно, почему низкий КАБК влияет только на этот витамин, но не на ПТГ, ведь синтез 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> в норме контролируется ПТГ. Phillippo et al. (1994) считают, что кислые рационы могут влиять на активность этого витамина непосредственно, без участия ПТГ. Другое возможное объяснение заключается в том, что низкий КАБК в конце стельности влияет на чувствительность 1α-гидроксилазы, фермента, участвующего в синтезе 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>. У крыс на низкокальциевом рационе хронический ацидоз, индуцированный хлоридом аммония, предотвращал повышение концентрации 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> в плазме крови, независимо от изменений в секреции ПТГ (Bushinsky et al. 1982).

**Таблица 8.** Влияние КАБК на экскрецию кальция с мочой

Потребление Са, г/гол/сут.	Экскреция Са с мочой, г/гол./сут.		Источник
	катионный рацион	анионный рацион	
129	0,76	11,34	Abu Damir et al., 1994
65,9	2,82; 1,80	-	Delaquis & Block, 1995
97,7	0,61	1,53	Gaynor et al., 1989
74,9	0,21	6,13	Mosel, van, et al., 1993
47,5 / 83,7	-	5,4; 3,8	Schonewille et al., 1994b
51,6	0,4	6,1	Schonewille et al., 1994c
11,76	6,61	9,26	Takagi & Block, 1991a
<b>%Са от СВК</b>	<b>Са/креатинин в моче</b>	<b>Са/креатинин в моче</b>	
1,59	8,81 мэкв/л	19,19 мэкв/л	Tucker et al., 1992
1,42	0,46	3,02	Wang & Beede, 1992b

Однако в более поздних экспериментах (Goff et al., 1995b) измеряли концентрацию рецепторов витамина D в толстой кишке до и после отела у джерсейских коров, получавших рационы с разными КАБК (+337 против +134 мэкв/кг СВК). Эти авторы

считают, что концентрация этих рецепторов в толстой кишке отражает их концентрацию в 12-перстной кишке, главном месте активного всасывания кальция. Достоверных различий по концентрации перед отелом рецепторов витамина D в толстой кишке у коров с послеродовым парезом и без него обнаружено не было.

#### Влияние КАБК на здоровье и молочную продуктивность коров

Многие исследователи отмечали снижение частоты случаев молочной лихорадки при обогащении позднестельного рациона анионными солями (см. **Табл. 9**). Хотя анионные соли не могли полностью предотвратить появление случаев пареза, их частота сильно снижалась. Block (1984) показал, что частота молочной лихорадки (47,4%) на предродовых рационах, обогащенных катионами (+449 мэкв/кг СВК) может быть снижена почти до нуля добавлением анионных солей (до КАБК -172 мэкв/кг СВК). Частота случаев послеродовой гипокальциемии (когда концентрация общего кальция в крови < 2,0 ммоль/л) на подкисленных рационах (КАБК от -8 до -59 мэкв/кг СВК) была достоверно ниже, хотя случаев клинического пареза в этом опыте не было вообще (Phillippo et al., 1994). У голштинских коров (510 голов), получавших рацион с низким КАБК (-247 мэкв/кг СВК), была ниже частота случаев пареза (4 против 9%) и гипокальциемии с концентрацией ионного кальция в крови ниже 1,00 ммоль/л (0,1 против 19,4 %) по сравнению с коровами, получавшими рацион с высоким КАБК (+50 мэкв/кг СВК, Wang et al., 1991). Согласно результатам Joyce et al. (1997), у коров, получавших рационы с КАБК +300; +350 и -70 мэкв/кг СВК, частота молочной лихорадки составила соответственно 20; 20 и 7%, тогда как частота субклинической гипокальциемии (с концентрацией ионного кальция в крови ниже 1,00 ммоль/л) составила соответственно 20; 53 и 27%.

Исследований, связанных с влиянием КАБК на другие болезни, кроме молочной лихорадки, опубликовано немного. В недавнем исследовании Joyce et al. (1997) у 45 голштинских коров, получавших рационы с КАБК +300; +350 и -70 мэкв/кг СВК, систематически определялась частота различных заболеваний. Частота случаев задержки отделения плаценты у них составила соответственно 0; 6,7 и 6,7%; частота смещения сычуга – 20; 13 и 6,7%; кетоза – 20; 13 и 0%; частота родильного метрита во всех трех группах была одинаковой и составила 6,7%. Если суммировать все эти болезни, то окажется, что на рационах с низким КАБК у коров бывает меньше послеродовых проблем, чем на рационах с высоким КАБК.

Ранее Oetzel et al. (1988) сообщали, что при введении в предродовые рационы анионных солей у коров снижается частота случаев послеродовой задержки плодных мембран. Однако Gaynor et al. (1989) отмечали высокую частоту задержки отделения

плаценты (28%) при всех уровнях КАБК, что они объяснили высоким содержанием в корме кальция (1,2%), ингибирующим усвоение селена. У коров, получавших во время стельности рацион с низким КАБК (-30 мэкв/кг СВК) по сравнению с высоким (+102 и +60 мэкв/кг СВК), отек вымени после отела спадал быстрее (Tucker et al., 1992). По данным Seymour et al. (1992), у голштинских коров (200 голов), получавших в стельный период рационы с низким КАБК (-60 мэкв/кг СВК) против высокого (+160 мэкв/кг СВК), были выше частота случаев кетоза (14,1 против 4,3%) и количество осеменений на 1 оплодотворение (2,1 против 1,6). У поголовья в 510 коров частота дистоции, смещения сычуга, метрита и кетоза на рационе с низким (-247 мэкв/кг СВК) и высоким (+50 мэкв/кг СВК) КАБК достоверно не различалась (Wang et al., 1991). При этом оплодотворяемость на низком КАБК была выше, чем на высоком.

У коров, получавших с 3 недель до отела рацион с низким КАБК (-70 мэкв/кг СВК) против высокого (+300 и +350 мэкв/кг СВК), удой достоверно не увеличивался. Послеродовое повышение потребления корма (в расчете на СВ) у коров, получавших до отела рацион с низким КАБК, показывает, что улучшение кальциевого статуса коров может улучшать их молочную продуктивность (Joyce et al., 1997). По другим данным, предродовой рацион с низким КАБК (-247 мэкв/кг СВК) по сравнению с высоким (+50 мэкв/кг СВК) повысил у коров выход молока (West et al., 1991). По данным Sanchez et al. (1994), максимальная молочная продуктивность была отмечена у коров, получавших во время лактации рационы с КАБК от +300 до +500 мэкв/кг СВК (рассчитанным как Na + K – Cl).

**Таблица 9.** Влияние КАБК и содержания кальция в рационе на частоту пареза

КАБК, мэкв/кг СВК	Са в рационе, % от СВ	Частота пареза на рационе:		Источник
		катионном	анионном	
+449, -172	0,66	47,4%	0%	Block, 1984
+346, -22, -119		85,7%	0%, 16,7%	Dishington, 1975
+1258, +599, +220	1,17	2 / 6	0 / 6	Gaynor et al., 1989
+978, -228	1,71	6 / 23	1/24	Goff et al., 1991
+461, +436, +408, +222, +202, -54, -98	0,5 и 1,5	12 / 31 (при 0,5% Са) 11 / 32 (при 1,5% Са)		Goff & Horst, 1997
+350, +300, -70	0,54; 0,94; 1,11	20%, 20%	6,7%	Joyce et al., 1997
+573, -4	н/указ.	н/вл.	н/вл.	Mosel, van, et al., 1993
+573, -4	н/указ.	н/вл.	н/вл.	Mosel, van, et al., 1994
+189, -75	0,6 и 1,2	17%	14%	Oetzel et al., 1988
+90, -30	1,6	5 / 60	4 / 60	Tucker et al., 1992

## ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задачей настоящего исследования было оценить влияние различных уровней КАБК рационов при разных уровнях содержания в них кальция, магния и калия на кислотно-основный статус организма и некоторые показатели минерального состава крови и мочи у коров, получавших во время стельного периода рационы на основе травяного силоса и свежей травы. Также оценивали влияние разных уровней КАБК на отек вымени в стельный период и в начале лактации. В задачи исследования также входила разработка состава пригодной для практики добавки анионных солей в концентрат для стельных финских коров, получающих рацион на основе травяного силоса.

## ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Схемы опытов

Во всех экспериментах (I-V; Tauriainen et al., 1998a,b,c; 2000a,b) КАБК всего рациона рассчитывали по формуле:  $[(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})]$ , мэкв/кг СВК. Изучали влияние разных уровней КАБК на кислотно-основный статус организма и некоторые показатели минерального состава крови и мочи. Образцы крови и мочи у каждой коровы брали перед полдненным кормлением за 4, 3, 2 и 1 неделю до предполагаемого срока отела, при отеле, через 1 день и 1 неделю после отела. Для оценки мобилизации кальция из костяка измеряли концентрацию гидроксипролина в моче (I-III). Взвешивание коров и оценку состояния тела проводили в начале каждого опыта, за две недели до предполагаемого срока отела и после отела. Состояние тела оценивали по 5-балльной шкале, где балл = 1 означал чрезмерно тощее, а 5 – чрезмерно ожиренное состояние тела. Отек вымени оценивали количественно (IV-V), а в опыте V также и визуально, по 5-балльной шкале, где балл = 1 означал отсутствие отека, а 5 – очень сильный отек. Эксперименты проводили на исследовательских фермах Хельсинкского Университета в Виикки (I, III, IV) и в Суитье (II, V).

Опыт I (Tauriainen et al., 1998a) проводился с целью изучения использования анионных солей в смесях-концентратах с содержанием кальция либо нормальным (из расчета суточного потребления кальция 34 г/гол.), либо высоким (74 г/гол.). Рационы были обогащены либо катионами (+34 мэкв/кг СВК), либо анионами (-247 мэкв/кг СВК). В этом двухфакторном (2 x 2) эксперименте было задействовано 12 айрширских и 8 фризских коров 2-го и более отела. Средняя ЖМ коров в начале эксперимента составила  $652 \pm 63$  кг. Средний балл состояния тела в начале опыта составил 3,5; в конце – 3,3.

В двухфакторном (2 x 2) опыте II (Tauriainen et al., 1998b) на фризских коровах было задействовано 12 коров и 8 первотелок. Задачей этого опыта было изучение использования анионных солей в смесях-концентратах с разными уровнями магния (из расчета суточного потребления магния 16 и 33 г/гол.); рацион был либо катионным (+340 мэкв/кг СВК), либо анионным (+31 мэкв/кг СВК). Средняя ЖМ коров в начале эксперимента составила  $647 \pm 51$  кг. Средний балл состояния тела в начале и конце опыта составил 3,8.

Задачей опыта III (Tauriainen et al., 1998c) было изучение использования анионных солей в смесях-концентратах с двумя уровнями КАБК (+410 и +81 мэкв/кг СВК) при высоком содержании кальция (из расчета суточного потребления кальция 82 г/гол.). Средняя ЖМ по 18 подопытным животным (10 коров и 8 первотелок айрширской породы) в начале опыта составила  $588 \pm 39$  кг. Средний балл состояния тела в начале опыта составил 3,4; в конце – 3,2.

В опыте IV (Tauriainen et al., 2000a) поголовье 21 айрширских коров было разделено на 3 группы: 1) контроль с высоким КАБК (+298 мэкв/кг СВК); 2) высокий КАБК (+571 мэкв/кг СВК) с добавкой калия в виде гидрокарбоната  $\text{KHCO}_3$ ; 3) низкий КАБК (+107 мэкв/кг СВК). Задачей опыта было оценить совместное влияние КАБК и потребления калия на фоне высокого потребления магния (33 г/гол./сут.). Также оценивали влияние рациона на развитие отека вымени. Средняя ЖМ коров в начале эксперимента составила  $638 \pm 58$  кг. Средний балл состояния тела в начале опыта составил 3,2; в конце – 3,3.

Наконец, задачей опыта V (Tauriainen et al., 2000b) было изучение использования анионных солей в смесях-концентратах с двумя уровнями КАБК (+254 и -41 мэкв/кг СВК). В опыте использовали 18 фризских коров (2-го и более отела); влияние рациона на развитие отека вымени определяли двумя разными способами. Средняя ЖМ коров в начале эксперимента составила  $660 \pm 52$  кг. Средний балл состояния тела в начале опыта составил 3,2; в конце – 3,1.

### **Корма**

Смесь-концентрат в опытах I-III состояла из мелассы, пшеницы, ячменя, пшеничных отрубей, свекольной пульпы, гранулированной травяной муки и моносодий-фосфата  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; в опытах IV-V – из овса, пшеничного глютена, овсяных отрубей, ячменя, пшеничной мелассы, карбоната кальция, фосфата магния, хлорида натрия, фосфата кальция, улучшителя запаха, растительного масла, добавок селена, витаминов и микроэлементов. В качестве анионных солей использовали хлорид аммония (I-V), сульфат

аммония (I-III), хлорид магния (I-V) и сульфат магния (IV-V). При проведении опыта I целью было получить для анионной группы КАБК на уровне -150 мэкв/кг СВК. Поскольку на практике этот показатель оказался еще меньшим, чем ожидалось, в опытах II и III КАБК несколько повысили, и целевыми значениями стали -70 мэкв/кг СВК для анионной группы и +250 для катионной. В опыте IV целевое значение КАБК для анионной группы было -20 мэкв/кг СВК. На практике оно оказалось несколько выше, поэтому для последнего опыта (V) целевым было взято значение -40 мэкв/кг СВК.

Опыты II и III проводились одновременно, и в них использовалась одна и та же смесь-концентрат. Для достижения высокого потребления кальция в смесь добавляли карбонат кальция, а высокого потребления магния – оксид магния. В опыте IV высокий уровень калия в рационе создавали с помощью добавки бикарбоната калия; высокий уровень магния в контроле и группе с высоким КАБК создавали с помощью добавки фосфата магния, а в группе с низким КАБК – смеси хлорида и сульфата магния. Среднесуточное потребление СВ корма на голову составило 7,62 кг (опыты I-III), 8,79 кг (опыт IV) и 9,13 кг (опыт V, см. **Табл. 10**). В опытах I-III рацион (в расчете на СВ) состоял из 67% травяного силоса, 12% сена и 20% концентрата. Дополнительно в него вводили 1% CaCO<sub>3</sub> (I, III) или 0,5% CaCO<sub>3</sub> + 0,5% MgO (II). В опытах IV-V экспериментальные рационы включали 59% травяного силоса, 10% сена и 31% концентрата. Содержание энергии в рационах для опытов I-III было равно рекомендуемому для поддержания тела значению (согласно Braak, van de, et al., 1986b), помноженному на коэффициент запаса 1,2.

Кормление опытными рационами начинали за 4 недели до предполагаемого срока отела и заканчивали при отеле. Сразу после отела коров переводили на обычный рацион и режим кормления, принятые на экспериментальных фермах Хельсинкского Университета. Коров на протяжении всего периода опыта кормили одним и тем же рационом, для того, чтобы свести к минимуму разброс потребления корма в группах. Более подробно детали каждого опыта описаны в соответствующих статьях.

**Таблица 10.** Потребление СВК, содержание энергии, химический состав (на СВ), суточное потребление элементов и катионно-анионное соотношение в опытных рационах (опыты I-V).

Показатель	Опыт I				Опыт II				Опыт III		Опыт IV			Опыт V	
	Выс. КАБК <sup>4</sup>		Низк. КАБК		Выс. КАБК		Низк. КАБК		Выс. КАБК	Низк. КАБК	контроль	Выс. КАБК	Низк. КАБК	Выс. КАБК	Низк. КАБК
	Са в рационе:				Mg в рационе:										
	норм.	выс.	норм.	выс.	норм.	выс.	норм.	выс.							
Потр. СВ, кг/сут.	7,61	7,85	7,10	7,71	7,57	7,61	7,63	7,67	7,75	7,74	8,79	8,79	8,79	9,19	9,06
ОЭ <sup>1</sup> , МДж/кг СВ	10,90	10,77	10,72	10,60	10,54	10,49	10,51	10,33	10,80	10,79	9,70	9,71	9,46	9,96	9,70
Сырой протеин, %	14,90	14,73	16,50	16,53	12,02	11,97	14,27	14,21	14,18	16,58	14,22	14,08	14,61	13,29	13,69
Сырая клетчатка, %	25,06	24,71	25,58	24,90	26,08	25,86	25,86	25,75	24,90	24,96	25,11	24,67	24,85	23,27	23,00
КДК <sup>2</sup> , %	28,30	24,81	25,69	25,96	28,71	26,22	26,17	26,06	28,75	24,84	31,33	24,02	24,18	31,54	22,91
НДК <sup>3</sup> , %	46,93	46,27	47,74	46,45	48,69	48,28	48,13	47,92	46,42	46,34	47,03	45,91	45,89	46,07	44,88
Са, %	0,46	0,94	0,47	0,96	0,69	0,71	0,66	0,69	1,07	1,05	0,78	0,86	0,85	0,53	0,57
Р, %	0,51	0,51	0,49	0,50	0,44	0,44	0,40	0,40	0,47	0,42	0,43	0,44	0,42	0,34	0,34
Mg, %	0,31	0,32	0,34	0,38	0,21	0,43	0,21	0,43	0,22	0,22	0,38	0,41	0,34	0,32	0,42
К, %	2,53	2,50	2,45	2,39	2,55	2,54	2,50	2,49	2,75	2,70	2,37	3,42	2,52	2,04	2,01
Na, %	0,26	0,26	0,20	0,21	0,29	0,29	0,24	0,24	0,31	0,25	0,14	0,16	0,14	0,18	0,18
Cl, %	2,05	2,03	2,51	2,60	1,13	1,13	1,76	1,75	1,05	1,70	0,67	0,68	1,34	0,83	1,58
S, %	0,24	0,23	0,37	0,38	0,19	0,19	0,35	0,35	0,21	0,38	0,29	0,29	0,35	0,21	0,29
Са, г/сут.	35	74	33	74	52	54	50	53	83	81	68	75	75	53	52
Р, г/сут.	39	40	35	39	33	33	31	31	36	33	38	38	37	34	34
Mg, г/сут.	24	24	24	29	16	33	16	33	17	17	33	36	30	32	42
К, г/сут.	193	196	174	184	193	193	191	191	213	209	209	300	221	204	201
Na, г/сут.	20	20	14	16	22	22	18	18	24	19	13	14	13	18	18
Cl, г/сут.	156	159	178	200	86	86	134	134	81	132	59	59	118	83	158
S, г/сут.	18	18	26	29	14	14	27	27	16	29	26	25	31	21	29
К/(Са+Mg), экв	1,3	0,9	1,2	0,8	1,3	0,9	1,3	0,9	1,0	1,0	0,9	1,1	0,9	0,98	0,84
КАБК, мэкв/кг СВК	+35	+33	-225	-268	+341	+339	+31	+31	+410	+81	+298	+571	+107	+254	-41

1 – обменная энергия рациона, рассчитанная по МАФФ (1975).

2 – КДК = фракция кислотно-детергентной клетчатки.

3 – НДК = фракция нейтрально-детергентной клетчатки.

4 - КАБК всего рациона рассчитывали по формуле:  $[(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})]$ , мэкв/кг СВК.

## ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Аппетитность и эффективность анионных солей

Непривлекательность для коров – один из главных минусов использования в их рационах анионных солей. В большинстве исследований их скармливали в составе полнорационного корма, в котором не столь заметен кислый вкус анионных солей. Однако в Финляндии фуражные и концентрированные корма по традиции скармливают раздельно. Поэтому так важно подобрать подходящий для скармливания анионных солей состав концентрата. В опыте I концентрат был особенно непривлекательным для коров. Они съедали концентрат, только когда его вручную тщательно смешивали с травяным силосом. В последующих экспериментах (II-V) привлекательность концентрата была довольно хорошей, и коровы не отказывались его есть. В опытах II-III аппетитность концентрата улучшали с помощью добавки свекольной мелассы. Однако этот продукт не очень удобен из-за высокого содержания в нем калия, поэтому в последующих опытах (IV-V) его заменили пшеничной мелассой. Кроме того, для улучшения вкуса и увеличения потребления концентрата в него добавляли особый улучшитель с запахом кокоса.

В опытах II-V, где у коров практически не было проблем с поеданием концентрата, общее потребление анионных солей (экв/гол/сут.) составило, соответственно опытам, 2,99 (опыт II); 3,39 (опыт III); 1,80 (опыт IV) и 3,15 (опыт V). Согласно Oetzel et al. (1991), при норма ввода солей 2 экв/гол/сут. рацион хорошо поедался коровами. Повышение этой нормы до 2,3 экв/гол/сут. вызывало резкое ухудшение поедаемости концентрата (Oetzel & Barmore, 1993). В нашем опыте I коровы отказывались есть концентрат с дозой солей 3,17 экв/гол/сут., однако в последующих опытах охотно съедали даже концентрат с дозой солей 3,39 экв/гол/сут. (опыт III). Вероятно, на привлекательность концентратов для коров влияют не столько доза солей в экв/кг, сколько какие-то другие факторы.

В наших опытах КАБК в анионных группах составлял -247 мэкв/кг СВК (опыт I), +31 мэкв/кг СВК (опыт II), +81 мэкв/кг СВК (опыт III), +107 мэкв/кг СВК (опыт IV) и -41 мэкв/кг СВК (опыт V). Вследствие разброса состава травяного силоса и сена реальные значения КАБК несколько отличались от тех, которые мы планировали получить. В наших опытах мы определили верхний и нижний пределы реальных значений КАБК. Самый важный фактор, ограничивающий использование КАБК – это концентрация калия в травяном силосе и сене (>30 г К/кг СВ).

При значении КАБК -247 мэкв/кг СВК было отмечено благотворное действие анионных солей на метаболизм кальция. Однако лучше, чтобы КАБК был выше, так как при таком низком его значении значительно снижается рН мочи (<6), и в плазме крови



наблюдаются значительные изменения не только содержания кальция, но также и калия, хлорид-анионов и натрия. В одном исследовании было установлено, что такое низкое значение КАБК как -428 мэкв/кг СВК не опасно для жвачных (Wang & Beede, 1992b). А разные положительные значения КАБК не оказывали эффективного влияния на метаболизм кальция (опыты II-IV). Мы согласны с выводами Delaquis and Block (1995), что рН мочи – это самый чувствительный параметр, отвечающий на изменения КАБК даже тогда, когда все другие показатели крови и мочи не изменяются. Для эффективного снижения частоты послеродового пареза КАБК должен находиться, как минимум, в пределах между -30 и -150 мэкв/кг СВК (Tucker et al., 1992; Oetzel, 1993). Несмотря на это, Oetzel (1993) рекомендует считать максимумом отрицательного диапазона КАБК значение 0 мэкв/кг СВК. Нижний предел отрицательного диапазона КАБК предлагалось считать равным -150 (West, 1993) или -200 мэкв/кг СВК (Byers, 1994).

В наших исследованиях потребление анионных солей варьировало между 1,8 и 3,4 экв/гол./сут. В ранних исследованиях обычно применяли дозы анионных солей в диапазоне 2-3 экв/гол./сут. (см. **Табл. 2**). Когда КАБК составлял -247 мэкв/кг СВК, что эквивалентно суточному потреблению анионных солей 3,17 экв/гол. (опыт I), влияние кислотно-основного статуса на метаболизм кальция было намного сильнее, чем в последующем исследовании III, где суточное потребление анионных солей было даже выше (3,39 экв/гол.), но КАБК оставался положительным (+81 мэкв/кг СВК). Для успешной профилактики гипокальциемии нет смысла искать точную суточную дозу потребления анионных солей, так как для этого более важным показателем, по-видимому, все же является КАБК. Oetzel (1993) рекомендует уровень ввода добавки анионных солей в рацион из расчета их суточного потребления как минимум 3 экв/гол. Если значение КАБК нельзя сделать отрицательным добавкой менее чем 3 экв анионных солей, то лучше переформулировать рацион с другими компонентами. С практической точки зрения остается не вполне ясным, может ли добавка анионных солей успешно служить средством профилактики пареза, если содержание калия в травяном силосе превышает 30 г/кг СВ. При нормальном содержании калия в силосе, вероятно, можно рекомендовать дозировку анионных солей на уровне 2 экв/гол./сут.

### **Влияние потребления Mg и K на метаболизм минеральных веществ**

Добавление в рацион магния (опыты I, IV, V) в дозах, превышающих принятые в Финляндии рекомендации (Tuori et al., 2000), успешно снижало гипомагниемии (концентрация магния в крови меньше 0,85 ммоль/л) при отеле по сравнению с рекомендованным уровнем потребления магния 17 г/гол./сут., который соблюдался в

опытах II и III. Магний участвует в регуляции метаболизма кальция, влияя на активность в почках ПТГ, который стимулирует превращение менее активного 25-ОН-метаболита витамина D<sub>3</sub> в более активный 1,25-(ОН)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>. Это превращение может угнетаться при снижении концентрации магния в крови. По данным Sansom et al. (1983), для предотвращения возникновения гипокальциемии уровень магния в крови не должен опускаться ниже 0,85 ммоль/л. Уровень магния в крови, в отличие от уровня кальция, не контролируется гормонально, и коровам нужен постоянный приток магния из корма. Внутренний пул магния в организме коровы невелик, и при остром дефиците магния в корме полностью расходуется в течение нескольких часов.

Доступность магния из корма для организма коровы невелика и варьирует в пределах от 15 до 30% (Henry & Bentz, 1995). В опыте II, где магний (в виде оксида) вводили в рацион в дозе, превышающей рекомендованную, никаких улучшений отмечено не было. Разные партии оксида магния могут различаться по качеству и биологической доступности магния, хотя это самый распространенный источник магния для коров (Hemingway, 1985). Используемый в опыте II MgO, возможно, имел низкую доступность магния, так как между группами, получавшими 16 и 33 г Mg/сут./гол., достоверных различий по концентрации магния в плазме крови отмечено не было, и эта концентрация была низкой даже при высоком уровне ввода магния в корм.

Изученные в наших опытах (I-V) высокие концентрации калия в рационах варьировали от 24 до 34 г К/кг СВК, что в 3-4 раза превышает потребность в калии у стельных коров. Основной причиной такого высокого содержания калия в рационах была его высокая концентрация в травяном силосе; концентрация калия в свежей траве на ферме в Виикки составила в среднем 28,2 (опыт I), 30,1 (опыт II) и 32,6 (опыт III) г К/кг СВ, а на ферме в Суитье – 27,3 (опыт IV) и 31,4 (опыт V) г К/кг СВ. Известно, что высокие концентрации калия ингибируют у жвачных использование магния (Greene et al., 1983b; Khorasani & Armstrong, 1990; Schonewille et al., 1997). При повышении потребления магния до 33 г/гол./сут. (опыт IV) высокое содержание в корме калия вызвало у коров только один случай гипомагниемии при отеле, когда концентрация магния в крови была ниже 0,85 ммоль/л. При потреблении магния 24 (опыт I) и 37 г/гол./сут. (опыт V) случаев гипомагниемии не было отмечено вообще. Однако в группе опыта IV, где в корм дополнительно вводили калий, у 5 из 7 коров через неделю после отеля была отмечена субклиническая гипомагниемия, хотя это добавочное количество калия к тому времени уже было убрано из рациона. Вероятно, после отеля, когда рацион менялся, существует некоторое время задержки, связанное с перераспределением калия между вне- и внутриклеточными жидкостями. Более того, сообщалось, что ответ почек на резкие

изменения потребления калия с кормом мог начинаться с задержкой на несколько дней (Tasker, 1967).

Хотя можно считать вполне вероятным, что высокое потребление калия ухудшает использование магния (опыты II, III, IV), следует заметить, что высокое потребление кальция также может ухудшать использование магния (Fitt et al., 1974; Hardwick et al., 1991). Предполагалось, что при наличии высокого потребления калия финские рекомендации по содержанию магния для стельного периода, возможно, стоило бы увеличить. На практике можно рекомендовать вводить в рацион для стельных коров дополнительное количество магния при содержании в травяном силосе калия свыше 30 г/кг СВ. При любых изменениях уровня ввода калия в рацион следует принимать во внимание задержку в перестройке метаболизма калия в организме, а также возможное негативное влияние калия на использование магния.

#### **Содержание в крови минеральных веществ и ее кислотно-основной баланс**

Низкий КАБК (-247 мэкв/кг СВК) повышал концентрации ионизированного кальция в крови при отеле (опыт I). Концентрация общего кальция в крови в этом опыте оставалась практически неизменной, что согласуется с данными других авторов (Takagi & Block, 1991c; Phillipppo et al., 1994). В одной из работ уровень КАБК -70 мэкв/кг СВК дал противоречивые результаты (Jouce et al., 1997). Однако ионизированный кальций является лучшим индикатором кальциевого статуса, чем общий кальций, так как первый более биологически активен. При положительных значениях КАБК (опыты II-IV) анионные соли не оказывали положительного влияния на уровень ионного кальция в крови. По литературным данным, самое высокое значение КАБК, приводящее к повышению концентрации в крови ионного кальция при отеле – это -35 мэкв/кг СВК (Abu Damir et al., 1994), что говорит о том, что для оказания заметного влияния на метаболизм кальция величина КАБК должна быть отрицательной.

Потребление кальция не оказывало влияния на концентрации всех изученных минеральных веществ в крови (опыт I). Традиционный метод профилактики молочной лихорадки – ограничение ввода кальция в рацион в период стельности. Скармливание в этот период низкокальциевого рациона усиливает эффективность всасывания кальция в кишечнике и его резорбции из костяка до начала лактации (Reinhardt et al., 1988; Horst et al., 1997). Однако если рацион для стельного периода имеет низкий КАБК, то есть данные как за (Schonewille et al., 1994b), так и против (Fredeen et al., 1988a; Won et al., 1996) ограничения ввода кальция в такой рацион. Введение в обогащенный анионами рацион кальция, а также фосфора, при оптимальном их соотношении, может предотвращать

возможные повреждения костяка, связанные с усилением вывода минеральных веществ с мочой на анионном рационе (Won et al., 1996).

Перед отелом у коров, получавших рацион с КАБК -247 мэкв/кг СВК (опыт I), концентрации калия, натрия и хлора в плазме крови были выше, а при КАБК -40 мэкв/кг СВК была выше только концентрация хлора; однако в других опытах (II-IV) анионные рационы не оказывали влияния ни на один из этих показателей крови. Когда кислотность внеклеточной жидкости повышена из-за повышения концентрации анионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , ионообмен между  $\text{H}^+$  и  $\text{K}^+$  помогает нивелировать избыточное накопление в ней ионов  $\text{H}^+$ , но это может привести к гиперкалиемии. Повышение концентрации в плазме крови анионов хлора приводит также к повышению в ней концентрации ионов натрия, так как они связаны между собой. Таким образом, низкий КАБК вызвал умеренный метаболический ацидоз через неделю после скармливания такого рациона (опыт I). Организм коровы может в течение недели справиться с таким ацидозом и вернуться к норме. Так как в опыте I наблюдались заметные изменения концентрации электролитов в крови, то индуцированный в опыте ацидоз, вероятно, был избыточным.

Величина КАБК не оказывала влияния на концентрацию в плазме крови неорганического фосфора (опыты I-V), что подтверждает данные предыдущих исследований (Oetzel et al., 1988; Gaynor et al., 1989; Romo et al., 1991; Tucker et al., 1992; Joyce et al., 1997). Гипофосфатемия и гипермагниемия сопровождаются снижением концентрации кальция в плазме крови при отеле, что позволяет предположить, что изменения в метаболизме фосфора и магния были скорее связаны с гипокальциемией, чем с самим по себе анионным рационом (Phillippo et al., 1994).

### **Паратиреоидный гормон**

Секреция ПТГ исследовалась только в опыте I, по данным которого состав рациона не оказывал влияния на концентрацию ПТГ в плазме крови коров. Эти данные согласуются с более ранними данными других авторов (Goff et al.; 1991; Abu Damir et al., 1994; Phillippo et al., 1994). Однако предродовое повышение концентрации в плазме  $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$  на анионных рационах по сравнению с катионными было обнаружено во многих исследованиях (Gaynor et al., 1989; Goff et al., 1991; Abu Damir et al., 1994; Phillippo et al., 1994). Считалось, что анионные рационы повышают чувствительность тканей к ПТГ (Gaynor et al., 1989; Goff et al., 1991), так как добавка анионов в рацион усиливает у коров остеокластическую резорбцию костной ткани и синтез  $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ . Оба эти физиологические процесса контролируются ПТГ. Horst et al. (1997) считают, что рецепторы ПТГ, т.е. особые белки на поверхности клеток костной ткани и почек,

отвечающие за «узнавание» молекул ПТГ, функционируют менее эффективно при высоких значениях рН крови.

### **Экскреция минеральных веществ с мочой**

В наших исследованиях в качестве альтернативы полного сбора выделенной животными мочи мы использовали определение отношения в ней содержания минеральных веществ и креатинина. Полный сбор мочи – это трудоемкий и стрессующий животных процесс. Считается, что экскреция креатинина с мочой у каждой особи является постоянной величиной и не зависит от ее возраста (Rebhan & Donker, 1960). Согласно данным Erb et al. (1977), концентрация креатинина в моче является вполне адекватным показателем экскреции с мочой гормонов. Для расчета доли минеральных веществ, удаляемых из плазмы крови и выделяющихся с мочой, использовали показатели фракционной экскреции элементов (%).

Роль почек в гомеостазе кальция незначительна, так как всасывание кальция в кишечнике контролируется гормонально. Почки коров очень эффективно удерживают в организме кальций. Однако экскреция кальция с мочой перед отелом на рационах с анионными солями повышалась (опыты I-III, V), даже если КАБК при этом был положительным, как в опытах II (+31 мэкв/кг СВК) и III (+81 мэкв/кг СВК). Почечные каналцы чувствительны к кислотно-основному статусу и на повышение рН крови отвечают снижением всасывания и возвращения в кровоток отфильтрованного почками кальция (Stacy & Wilson, 1970). Тем не менее, при КАБК +107 мэкв/кг СВК (опыт IV) повышения экскреции кальция с мочой не отмечено, что свидетельствует о том, что такой уровень закисления рациона был недостаточным.

Ни КАБК (опыты I-V), ни потребление кальция (опыт I) или магния (опыт II) не оказывали достоверного влияния на экскрецию других элементов, хотя экскреция кальция и магния связаны между собой (Halse, 1984). Согласно некоторым авторам (Horst & Jorgensen, 1974; Fredeen et al., 1988a; Gaynor et al., 1989), метаболический ацидоз повышает экскрецию магния с мочой; подобная тенденция отмечена и в опыте I. Однако ввод в рацион дополнительного количества калия (опыт IV) вызвал достоверное ( $P < 0,01$ ) повышение удержания в организме магния и натрия почками, поскольку показатели фракционной экскреции этих элементов в этой группе были ниже, чем в других группах опыта. Вероятно, механизм удерживания натрия почками связан с секрецией альдостерона, приводящей к повышению реабсорбции натрия в почечных каналцах и одновременному повышению экскреции калия.

### Здоровье животных

Клинические симптомы молочной лихорадки при отеле были отмечены у одной коровы в группе опыта IV с добавкой калия, а также у двух коров катионной группы опыта V. Этим коров лечили с помощью инъекций хлорида кальция или кальциевым гелем перорально после взятия у них проб крови. Низкая концентрация ионного кальция в крови ( $<1,00$  ммоль/л) при отеле была отмечена у 2 (опыт I), 3 (опыт II), 1 (опыт III), 3 (опыт IV) и 1 (опыт V) коров. Три из них были из групп, получавших анионные соли (опыты II и IV). В опыте I подкисление рациона было избыточным, а в опытах II-IV оно оказалось недостаточно эффективным. Кроме того, возраст коров был довольно низким. Если бы в опытах использовали более старых коров, то, скорее всего, мы наблюдали бы больше случаев клинического пареза и более выраженную гипокальциемию. В опытах II и III были задействованы даже первотелки, потому что иначе эксперименты длились бы гораздо дольше, и состав травяного силоса и сена в течение опыта вполне мог измениться. Даже при таком подопытном материале опыт продлился 5 месяцев.

Задержка отделения плаценты была отмечена у 7 коров в опыте II. Однако этот симптом присутствовал во всех группах опыта, и поэтому вряд ли был связан с составами опытных рационов. В других опытах этот симптом отмечен у 3 коров из группы, получавшей анионные соли и дополнительную дозу кальция (опыт I); у одной коровы из группы с анионным рационом, которая отелилась двойней и потому отел проходил с осложнениями (опыт III); и у одной коровы из группы с повышенным уровнем калия (опыт IV). Хотя в литературе отмечалось снижение на рационах с низким КАБК частоты ряда послеродовых болезней (Joyce et al., 1997) или отдельно задержки плаценты (Oetzel et al., 1988), мы во всех наших пяти опытах такого эффекта не обнаружили.

Отек вымени связан с накоплением в тканях вымени внутритканевой жидкости в межклеточном пространстве. Вымя распухает, и корова испытывает дискомфорт. Этот послеродовой симптом повышает риск мастита и затрудняет доение. Использование рационов с низким КАБК может быть нежелательно, если они повышают риск отека вымени. В опыте I у нескольких коров был отмечен сильный отек вымени, не спадавший несколько недель после отела, но этот показатель в данном опыте не учитывался количественно, и потому данные по нему не были включены в публикацию. Этот результат оказался довольно неожиданным, поскольку ранние исследования показали, что при скармливании в период стельности рационов с низким КАБК ( $-30$  мэкв/кг СВК) против высокого ( $+102$  и  $+60$  мэкв/кг СВК) отек вымени после отела у коров спадал быстрее (Tucker et al., 1992). Количественно отек вымени оценивался только в опытах IV и V.

Было показано, что околородовой отек вымени могут вызывать высокое потребление натрия (Randell et al., 1974; Jones et al., 1984; Nestor et al., 1988) или калия (Sanders & Sanders, 1981), а также высокое отношение  $K/(Ca+Mg)$  (Sanders & Sanders, 1982). Однако в наших экспериментах (I-V) среднее суточное потребление натрия составляло 18 г/гол., что в 1,5 раза выше потребности в этом элементе у стельных коров (12 г/гол./сут., согласно рекомендациям Tuori et al., 2000). Во всех наших опытах соотношение  $K/(Ca+Mg)$  было меньше 2,2 (см. Табл. 10), что соответствует более ранним рекомендациям (Kemp & Hart, 1957). Потребление калия во всех опытах было выше 174 г/гол./сут., что, как минимум, в 2,5 раза превышает потребность для периода стельности. Согласно данным Sanders & Sanders (1981), отек вымени возникает при превышении суточной дозы калия 227 г/гол. Однако в нашем опыте IV суточная доза 300 г/гол. не вызывала увеличение частоты отека вымени. В опыте I только потребление хлора в анионных группах (178 и 200 г/гол./сут.) было выше, чем во всех группах других опытов (II-V). Возможно, именно этим и объясняется повышенная частота отека вымени в этом опыте. В исследовании Jones et al. (1984) при потреблении хлора на уровне 195 г/гол./сут. было отмечено повышение частоты отека вымени. Однако причиной отека вымени может являться концентрация в рационе не только какого-то одного элемента; возможно, на частоту отека вымени влияет также концентрация комбинации солей. Например, использование хлорида кальция снижало остроту симптомов отека вымени (Lema et al., 1992) и приводило к более быстрому спадению отека (Tucker et al., 1992), вероятно, в результате мочегонного действия  $CaCl_2$ .

#### Дальнейшие исследования

Для кормления крупных стад в Финляндии все чаще стали использовать полнорационные корма. Было бы полезно для практики изучить поведение анионных солей при их вводе в ПРК. В этом случае кислый вкус этих солей для коров будет не так ощутим, и их можно будет вводить в рационы в более значительных количествах.

Если КАБК основного рациона превышает 250 мэкв/кг СВК, то будет трудно ввести в него такое количество анионных солей, которое снизит это значение до рекомендуемого уровня (-100 мэкв/кг СВК) и при этом не сделает корм непривлекательным для коров. КАБК также можно снизить с помощью снижения содержания в рационе катионов, причем особое внимание следует уделить снижению содержания калия. Традиционно главное внимание уделяется повышению выхода и переваримости фуражных культур и содержания в них протеина, а на концентрацию в них калия обращают внимание редко. Высококалиевые рационы могут даже больше, чем

высококальциевые, усиливать риск послеродового пареза. Следовало бы также изучить влияние уровней потребления калия на другие распространенные болезни коров, такие как мастит. Сообщалось, что при концентрации калия в рационе более 30 г/кг СВ частота мастита на фермах в Швеции резко повышается (Eriksson, 2000). Среднее содержание калия в силосе из свежей и подсушенной травы в Финляндии в 1996-1999 гг. находилось на уровне 21 и 25 г/кг СВ соответственно (Valio Ltd, 2000). На некоторых фермах содержание калия в травяном силосе, особенно из подсушенной травы, достигало 50 г/кг СВ, что соответствует примерно 35-45 г/кг СВ в полном рационе коров. Такое высокое содержание калия в фуражных кормах может быть следствием использования на покосных площадях больших количеств калийных удобрений или навоза.

Важнейшими компонентами фуражного корма в Финляндии являются тимофеевка луговая (*Phleum pratense*) и овсяница луговая (*Festuca pratensis*). Эти виды растений являются натрофобными, т.е. они не могут эффективно усваивать натриевые удобрения. Поэтому исследований по замене калиевых удобрений на натриевые практически не проводилось (Nakkola et al., 1997). Однако использование калиевых удобрений и способы их внесения следовало бы изучить более внимательно. Кроме того, в сферу будущих исследований кормления стельных коров обязательно должно войти тщательное изучение такого важного направления, как использование низкокальциевых рационов.

## ВЫВОДЫ

1. Смеси-концентраты могут быть вполне привлекательными и аппетитными для коров даже при вводе в них анионных солей на уровне 3 экв/кг СВ. Однако КАБК является более важным фактором в сравнении с концентрацией анионных солей с точки зрения улучшения кислотно-основного статуса организма и метаболизма кальция, так как изменения соответствующих показателей коррелировали именно с КАБК, а не с суточной дозой анионных солей. Суточная доза концентрата должна составлять 3-4 кг/гол.; тогда кислый вкус анионных солей не будет так заметен для коров, и уровни их ввода в концентрат можно будет оптимизировать.
2. При уровне КАБК -247 мэкв/кг СВК (опыт I) подкисление рациона оказалось избыточным, тогда как положительные значения КАБК (опыты II-IV) оказали лишь незначительное влияние на метаболизм кальция у стельных коров. Вероятно, использование рационов с низким КАБК для профилактики послеродового пареза будет



более эффективным при содержании калия в травяном силосе менее 30 г/кг СВ; при таком содержании калия в силосе анионные соли, скорее всего, можно будет вводить в рацион в дозе 2 экв/гол./сут. Если концентрация калия в травяном силосе превышает 30 г/кг СВ, то рекомендуемые в этом случае уровни КАБК (-150 – -100 мэкв/кг СВК) создать в рационе будет сложно, поэтому рационы для стельных коров лучше будет переформулировать с использованием альтернативных компонентов.

3. Так как влияние низких уровней КАБК на метаболизм минеральных веществ у стельных коров продолжает проявляться в течение недели после скармливания такого рациона, то анионные соли можно давать им в течение 3, а не 4 недель.

4. Низкие уровни КАБК можно использовать независимо от уровня потребления кальция. Иными словами, на практике анионные соли можно использовать для профилактики пареза даже на фоне высокого содержания кальция в рационе.

5. Повышение потребления магния стельными коровами сверх рекомендуемых в Финляндии норм снижает гипомagneзиемию при отеле. На практике можно рекомендовать ввод в рацион для стельных коров дополнительного количества магния в случаях, когда содержание калия в травяном силосе превышает 30 г/кг СВ.

6. В интервале значений КАБК от +571 до -40 мэкв/кг СВК влияния этого показателя на частоту отека вымени у коров не отмечено. Изучены количественные методы оценки отека вымени, которые следует использовать в дополнение к обычным субъективным методам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abu Damir, H., Phillippo, M., Thorp, B. H., Milne, J. S., Dick, L. & Nevison, I. M. 1994. Effects of dietary acidity on calcium balance and mobilisation, bone morphology and 1,25-dihydroxyvitamin D in prepartal dairy cows. *Res. Vet. Sci.* 56: 310-318.
- AFRC 1991. Agricultural and Food Research Council. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No 6. A Reappraisal of the Calcium and Phosphorus Requirements of Sheep and Cattle. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding.* Vol 61, pp 573-612.
- Agnes, F., Sartorelli, P., Bisso, M.C. & Dominoni, S. 1993. Ionized calcium in calf serum: relation to total serum calcium, albumin, total protein and plasma. *J. Vet. Med. Series A*, 40: 605-608.
- Allen, V. G. 1984. Influence of dietary aluminium on nutrient utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 59: 836-844.
- Allen, W. M. & Sansom, B. F. 1985. Milk fever and calcium metabolism. *J. Vet. Pharmacol. Therap.* 8: 19-29.
- Allen, V. G. & Davies, D. C. 1981. Milk fever, hypomagnesaemia and the downer cow syndrome. *Br. Vet. J.* 137: 435-441.
- Ammerman, C. B., Chicco, C. F., Loggins, P. E. & Arrington, L. R. 1972. Availability of different inorganic salts of magnesium to sheep. *J. Anim. Sci.* 34: 122-126.
- Andrews, A. H., Laven, R. & Maisey, I. 1991. Treatment and control of an outbreak of fat cow syndrome in a large dairy herd. *Vet. Rec.* 129: 216-219.
- ARC 1965. The Nutrient Requirements of Farm Livestock. No. 2 Ruminants. London: HMSO, pp 14-85.
- ARC 1980. Agricultural Research Council The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, pp 192-201.
- Bar, A., Sachs, M. & Hurwitz, S. 1980. Observation on the use of 1 $\alpha$ -hydroxycholecalciferol in the prevention of bovine parturient paresis. *Vet. Rec.* 21: 529-532.
- Barber, D. M. L., Wright, C. L. & Maclellan, W. 1983. Hypomagnesaemia in periparturient dairy cows. *Vet. Record.* 112: 35-36.
- Barton, B. A., Horst, R. L., Jorgensen, N. A. & DeLuca, H. F. 1981. Concentration of calcium, phosphorus, and 1,25-dihydroxyvitamin D in plasma of dairy cows during the lactation cycle. *J. Dairy Sci.* 64: 850-852.
- Beitz, D. C., Burkhart, D. J. & Jacobson, N. L. 1974. Effects of calcium to phosphorus ratio in the diet of dairy cows on incidence of parturient paresis. *J. Dairy Sci.* 57: 49-55.
- Ben-Ghedalia, D., Tagari, H., Zamwel, S. & Bondi, A. 1975. Solubility and net exchange of calcium, magnesium and phosphorus in digesta flowing along the gut of the sheep. *Br. J. Nutr.* 33: 87-94.
- Block, E. 1984. Manipulating dietary anions and cations for cows to reduce incidence of milk fever. *J. Dairy Sci.* 67: 2939-2948.
- Block, E. 1994. Manipulation of dietary cation difference on nutritionally related production diseases, productivity, and metabolic responses of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 1437-1450.
- Braak, van de, A. E., Klooster van't A. Th., Halvan Gestel van, J. C. & Malestein, A. 1984. Influence of stage of lactation and calcium level of the ration on mobilization rate of calcium and excretion of hydroxyproline in urine in dairy cows. Studies with Na<sub>2</sub>EDTA infusion in monozygotic twins. *Zbl. Vet. Med. A.* 31: 725-739.
- Braak, van de, A. E., Klooster van't A. Th. & Malestein, A. 1986b. Influence of prepartum calcium mobilization rate around parturition in dairy cows fed at a high prepartum feeding level. *Vet. Quart.* 8 (1): 24-37.
- Braak van de, A. E., Klooster van't, A. Th., Malestein, A. and Faber, J. A. J. 1986a. Effects of low and high calcium intake prepartum on calcium mobilization rate around parturition in dairy cows. *Vet. Quart.* 8 (1): 12-23.
- Braak, van de, A. E., Klooster van't A. Th. & Malestein, A. 1987. Influence of a deficient supply of magnesium during the dry period on the rate of calcium mobilisation by dairy cows at parturition. *Res. Vet. Sci.* 42: 101-108.
- Braitwaite, G. D. 1972. The effect of ammonium chloride on calcium metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 27: 201-209.
- Braithwaite, G. D. 1974. The effect of changes of dietary calcium concentration on calcium metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 31: 319-331.
- Braithwaite, G. D. 1975. Studies on absorption and retention of calcium and phosphorus by young and mature Ca-deficient sheep. *Br. J. Nutr.* 34: 311-324.

- Braithwaite, G. D. 1976. Calcium and phosphorus metabolism in ruminants with special reference to parturient paresis. *J. Dairy Sci.* 43: 501-520.
- Braithwaite, G. D. & Riazuddin, S. 1971. The effect of age and level of dietary calcium intake on calcium metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 26: 215-225.
- Breukink, H. J. 1993. Dutch experiments related to milk fever prevention. *Acta Vet. Scand.* 89: 125-128 (Suppl.).
- Bushinsky, D. A., Favus, M. J., Schneider, A. B., Sen, P. K., Sherwood, L. M. & Coe, F. L. 1982. Effect of metabolic acidosis on PTH and 1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> response to low calcium diet. *Am. J. Physiol.* 243: F570-F575.
- Byers, D. I. 1994. Management considerations for successful use of anionic salts in dairy-cow diets. *Comp. Cont. Ed. Pract. Vet. Food Anim.* 16: 237-242.
- Capen, C.C. & Rosol, T. J. 1989. Calcium regulating hormones and diseases of abnormal mineral metabolism. In: *Clinical biochemistry of domestic animals*. Kaneko J. J. (ed.). 4th ed. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA, pp 678-752.
- Chamberlain, A. T. & Wilkinson, J. M. 1996. Minerals and vitamins. In: *Feeding the dairy cow*. Chalcombe publications, Great Britain, pp 79-94.
- Chavez, E., Laurentz, J. C., Greene, L. W., Byers, F. M. & Schelling G. T. 1988. Apparent absorption of phosphorus, calcium, magnesium, and copper in two breeds of cows. *J. Anim. Sci.* 66: 463 (Suppl. 1).
- Chester-Jones, H., Fontenot, J. P., Veit, H. P. & Webb, K. E. 1990. Physiological and pathological effects of feeding high levels of magnesium to steers. *J. Anim. Sci.* 68: 4400-4413.
- Chicco, C. F., Ammerman, C. B., Feaster, J. P. & Dunavant, B. G. 1973. Nutritional interrelationships of dietary calcium, phosphorus and magnesium in sheep. *J. Anim. Sci.* 36: 986-993.
- Chrisp, J. S., Sykes, A. R. & Grace, N. D. 1989. Kinetic aspects of calcium metabolism in lactating sheep offered herbage with different Ca concentrations and the effect of protein supplementation. *Br. J. Nutr.* 61: 45-58.
- Contreras, P. A., Manston, R. & Samson, B. F. 1982. Calcium mobilisation in hypomagnesaemic cattle. *Res. Vet. Sci.* 33: 10-16.
- Cooper, S. R., Kline, K. H., Foreman, J. H., Brady, H. A. & Frey, L. P. 1998. Effects of dietary cation-anion balance on pH, electrolytes, and lactate in standardbred horses. *J. Equine Vet. Sci.* 18:10, 662-666.
- Cooper, S. R., Kline, K. H., Foreman, J. H., Brady, H. A., Shipley, C. F., Frey, L. P. & Sennello, K. A. 1995. Effects of dietary cation-anion balance on blood pH, acid-base parameters, serum and urine mineral levels, and parathyroidhormone (PTH) in weaning horses. *J. Equine Vet. Sci.* 15:10, 417-420.
- Curtis, C. R., Erb, H. N., Sniffen, C. J. & Smith, R. D. 1984. Epidemiology of parturient paresis: predisposing factors with emphasis on dry cow feeding and management. *J. Dairy Sci.* 67: 817-825.
- Deetz, L. E., Tucker, R. E., Mitchell Jr., G. E. & DeGregorio, R. M. 1982. Renal function and magnesium clearance in young and old cows given potassium chloride and sodium citrate. *J. Anim. Sci.* 55: 680-689.
- Delaquius, A. M. & Block, E. 1995. Acid-base status, renal function, water, and macromineral metabolism of dry cows fed diets differing in cation-anion difference. *J. Dairy Sci.* 78: 604-619.
- Dishington, I. W. 1975. Prevention of milk fever by dietary salt supplements. *Acta Vet. Scand.* 16: 503-512.
- Dorp, van, R. T. E., Martin, S. W., Shoukri, M. M., Noordhuizen, J. P. T. M. & Dekkers, J. C. M. 1999. An epidemiologic study of disease in 32 registered Holstein dairy herds in British Columbia. *Can. J. Vet. Res.* 63: 185-192.
- Dua, K. & Care, A. D. 1995. Impaired absorption of magnesium in the aetiology of grass tetany. *Br. Vet. J.* 151: 413-426.
- Erb, H. N. & Grohn, Y. T. 1988. Symposium: Health problems in the periparturient cow. Epidemiology of metabolic disorders in the periparturient dairy cow. *J. Dairy Sci.* 71: 2557-2571.
- Erb, H. N. & Martin, S. W. 1978. Age, breed and seasonal patterns in the occurrence of ten dairy cow diseases: a case control study. *Can. J. Comp. Med.* 42: 1-9.
- Erb, R. E., Surve, A. H., Randel, R. D. & Garverick, H. A. 1977. Urinary creatinine as an index of urinary excretion of estrogen in cows prepartum and postpartum. *J. Dairy Sci.* 60: 1057-1063.
- Eriksson, H. 2000.Utfodring och djurhälsa. Obalanserat mineralinnehåll i grovfodret tycks kunna försämra djurhälsan. 10:e regionala lantbrukskonferensen för norra Sverige den 14-15 mars 2000, Umeå, SLU, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, Rapport 1: 2000, pp 53-57.

- Fauchon, C., Seoane, J. R. & Bernier, J. F. 1995. Effects of dietary cation-anion concentrations on performance and acid-base balance in growing lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 75: 145-151.
- Field, A. C., Woolliams, J. A. & Woolliams, C. 1986. The effect of breed of sire on the urinary excretion of phosphorus and magnesium in lambs. *Anim. Prod.* 42: 349-354.
- Finco, D. R. 1989. Kidney function. In: *Clinical biochemistry of domestic animals*. Kaneko, J. J. (ed.). 4th ed. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA, pp 496-542.
- Fitt, T. J., Hutton, K. & Otto, W. R. 1974. Relative affinities of isolated cell walls of rumen bacteria for calcium and magnesium ions. *Proc. Nutr. Soc.* 33: 106A-107A.
- Fredeen, A. H. 1990. Effects of calcium loss and high dietary calcium and potassium on calcium kinetics and magnesium balance in sheep fed low magnesium diets. *Can. J. Anim. Sci.* 70: 1109-1117.
- Fredeen, A. H., DePeters, E. J. & Baldwin, R. L. 1988a. Characterization of acid-base disturbances and effects on calcium and phosphorus balances of dietary fixed ions in pregnant or lactating does. *J. Anim. Sci.* 66: 159-173.
- Fredeen, A. H., DePeters, E. J. & Baldwin, R. L. 1988b. Effects of acidbase disturbances caused by differences in dietary fixed ion balance on kinetics of calcium metabolism in ruminants with high calcium demand. *J. Anim. Sci.* 66:174-184.
- Fronk, T. J., Schultz, L. H. & Hardie, A. R. 1980. Effect of dry period overconditioning on subsequent metabolic disorders and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63: 1080-1090.
- Gardner, R. W. & McKellan, D. J. 1972. Calcium:phosphorus ratio and intake effects on parturient paresis and milk production responses to methionine analog. *J. Dairy Sci.* 55: 707. (Abstr.)
- Gardner, R. W. & Park, R. L. 1974. Effects of prepartum energy intake and calcium to phosphorus ratios on lactation response and parturient paresis. *J. Dairy Sci.* 56: 385-389.
- Gaynor, P. J., Mueller, F. J., Miller, J. K., Ramsey, N., Goff, J. P. & Horst, R. L. 1989. Parturient hypocalcemia in Jersey cows fed alfalfa haylage based diets with different cation to anion rations. *J. Dairy Sci.* 72: 2525-2531.
- Georgeovskii, V. I., Annenkov, B. N. & Samokhin, V. I. 1982. Mineral nutrition of animals. *Studies in the agricultural and food sciences*. Butterworths, Moscow, 475p.
- Giduck, S. A. & Fontenot, J. P. 1987. Utilization of magnesium and other macrominerals in sheep supplemented with different readily-fermentable carbohydrates. *J. Anim. Sci.* 65: 1667-1673.
- Goff, J. P. & Horst, R. L. 1997. Effects of the addition of potassium or sodium, but not calcium, to prepartum rations on milk fever in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 176-186.
- Goff, J. P., Horst, R. L., Mueller, F. J., Miller, J. K., Kiess, G. A. & Dowlen, H. H. 1991. Addition of chloride to a prepartal diet high in cations increases 1,25-dihydroxyvitamin D response to hypocalcemia preventing milk fever. *J. Dairy Sci.* 74: 3863-3871.
- Goff, J. P., Reinhardt, T. A., Beitz, D. C. & Horst, R. L. 1995a. Breed affects tissue vitamin D receptor concentration in periparturient dairy cows: a milk fever risk factor? *J. Dairy Sci.* 78: 184 (Suppl. 1).
- Goff, J. P., Reinhardt, T. A. & Horst, R. L. 1989. Recurring hypocalcemia of bovine parturient paresis is associated with failure to produce 1,25-dihydroxyvitamin D. *Endocrinology*: 125: 49-53.
- Goff, J. P., Reinhardt, T. A. & Horst, R. L. 1995b. Milk fever and dietary cation-anion balance effects on concentration of vitamin D receptor in tissue of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2388-2394.
- Goings, R.L., Jacobson, N. L., Beitz, D. C., Littledike, E. T. & Wiggers, K. D. 1974. Prevention of parturient paresis by a prepartum, calcium-deficient diet. *J. Dairy Sci.* 57: 1184-1188.
- Golz, D. I. & Crenshaw, T. D. 1991. The effect of dietary potassium and chloride on cation-anion balance in swine. *J. Anim. Sci.* 69: 2504-2515.
- Grace, N. D., Ulyatt, M. J. & Macrae, J. C. 1974. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. III. The movement of Mg, Ca, P, K and Na in the digestive tract. *J. Agric. Sci., Camb.* 82: 321-330.
- Green, H. B., Horst, R. L., Beitz, D. & Littledike, E. T. 1981. Vitamin D metabolites in plasma of cows fed a prepartum low calcium diet for prevention of parturient hypocalcemia. *J. Dairy Sci.* 64: 217-226.
- Greene, L. W., Fontenot, J. P. & Webb, Jr. K. E. 1983a. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *J. Anim. Sci.* 57: 503-510.
- Greene, L. W., Fontenot, J. P. & Webb, Jr. K. E. 1983b. Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macroelements in sheep fed different levels of magnesium. *J. Anim. Sci.* 56: 1208-1213.

- Greene, L. W., Webb, Jr. K. E. & Fontenot, J. P. 1983c. Effect of potassium level on site of absorption of magnesium and other macroelements in sheep. *J. Anim. Sci.* 56: 1214-1221.
- Gröhn, Y., Saloniemi, H. & Syväjärvi, J. 1986. An epidemiological and genetic study on registered diseases in Finnish Ayrshire cattle. III. Metabolic diseases. *Acta Vet. Scand.* 27:209-222.
- Gäbel, G. & Martens, H. 1986. The effect of ammonia on magnesium metabolism in sheep. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 55: 278-287.
- Hakkola, H, Isolahti, M. Rinne, K. & Virkajärvi, P. 1997. Nurmen natrium-kaliumlannoituskokeet Ruukissa ja Maaningalla. Tuloksia vuosilta 1992-97. Maatalouden tutkimuskeskus, Ruukki 14.12.1997, 6 p.
- Halse, K. 1984. Calcium effects on renal conservation of magnesium in cows. *Acta Vet. Scand.* 25: 213-227.
- Hardwick, L. L., Jones, M. R., Brautbar, N. & Lee, D. B. N. 1991. Magnesium absorption: mechanism and the influence of vitamin D, calcium and phosphorus. *J. Nutr.* 121: 13-23.
- Harris, D. J. 1981. Factors predisposing to parturient paresis. *Austr. Vet. J.* 57: 357-361.
- Harrison, J. H. & Conrad, H. R. 1984. Effect of dietary calcium on selenium absorption by nonlactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67: 1860-1864.
- Health record data 1999. Kotieläinten terveyst. Valio Oy, 37 p.
- Hemingway, R. G. 1985. The evaluation of magnesium phosphates and oxides as supplements for ruminants. Boliden Kemi conference on magnesium for ruminants. November 12-14. 1985. Sunne, Sweden.
- Henry, P. R. & Bentz, S. A. 1995. Magnesium bioavailability. In: Bioavailability of nutrients for animals. Ammerman, C. B., Baker, D. H. & Lewis, A. J. (eds.) Academic Press, San Diego, California, pp 201-237.
- Herdt, T. H. 1988. Fatty liver in dairy cows. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 4: 269-287.
- Hibbs, J. W. & Conrad, H. R. 1983. The relation of calcium and phosphorus intake and digestion and the effects of vitamin D feeding on the utilization of calcium and phosphorus by lactating dairy cows. Ohio Agricultural Research and Development Center. Research Bulletin 1150. 23 p.
- Hodnett, D. W., Jorgensen, N. A. & Deluca, H. F. 1992. 1 $\alpha$ -Hydroxyvitamin D<sub>3</sub> plus 25-hydroxyvitamin D<sub>3</sub> reduces parturient paresis in dairy cows fed high dietary calcium. *J. Dairy Sci.* 75: 485-491.
- Hollis, B. W., Draper, H. H., Burton, J. H. & Etches, R. J. 1981. A hormonal assessment of bovine parturient paresis: evidence for a role of oestrogen. *J. Endocr.* 88: 161-171.
- Horst, R.L. 1986. Regulation calcium and phosphorus homeostasis in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 69:604-616.
- Horst, R. L., Goff, J. P. & Reinhardt, T. A. 1990. Advancing age results in reduction of intestinal and bone 1,25-dihydroxyvitamin D receptor. *Endocrinology* 126: 1053-1057.
- Horst, R. L., Goff, J. P. & Reinhardt, T. A. 1994. Calcium and vitamin D Metabolism in the dairy cow. Symposium: calcium metabolism and utilization. *J. Dairy Sci.* 77: 1936-1951.
- Horst, R. L., Goff, J. P., Reinhardt, T. A. & Buxton, D. R. 1997. Strategies for preventing milk fever in dairy cattle. 1997. *J. Dairy Sci.* 80: 1269-1280.
- Horst, R. L. & Jorgensen, N. A. 1974. Effect of ammonium chloride on nitrogen and mineral balance in lactating and nonlactating goats. *J. Dairy Sci.* 57: 683-688.
- Horst, R. L. & Littledike, E. T. 1982. Comparison of plasma concentrations of vitamin D and its metabolite in young and aged domestic animals. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B: 485-489.
- INRA. 1978. Institut National de la Recherche Agronomique. Alimentation des Ruminants, INRA Publications, Versailles, pp 129-467.
- INRA. 1989. Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables. Jarrige, R. (ed.) Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, 389 p.
- Jackson, J. A. & Hemken, R. W. 1994. Calcium and cation-anion balance effects on feed intake, body weight gain, and humoral response of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 77: 1430-1436.
- Jackson, J. A., Hopkins, D. M., Xin, Z. & Hemken, R. W. 1992. Influence of cation-anion balance on feed intake, body weight gain, and humoral response of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 75: 1281-1286.
- Jardon, P. W. 1995. Using urine pH to monitor anionic salt programs. *Comp. Cont. Ed. Pract. Vet. Food Anim.* 17: 860-862.

- Jenness, R. 1985. Biochemical and nutritional aspects of milk and colostrum. In: Lactation. Larson, B. L. (ed.) 5th ed. Iowa, USA, pp 164-197.
- Jones, T. O., Knight, R. & Evans, R. K. 1984. Chronic udder oedema in milking cows and heifers. *Vet. Rec.* 115: 218-219.
- Jonsson G. 1978. Milk fever prevention. *Vet. Rec.* 102: 165-169.
- Jorgensen, N. A. 1974. Combating milk fever. *J. Dairy Sci.* 57: 933-944.
- Joyce, P. W., Sanchez, W. K. & Goff, J. P. 1997. Effect of anionic salts in prepartum diets based on alfalfa. *J. Dairy Sci.* 80: 2866-2875.
- Julien, W. E., Conrad, H. R., Hibbs, J. W. & Crist, W. L. 1977. Milk fever in dairy cows. VII. Effect of injected vitamin D3 and calcium and phosphorus intake on incidence. *J. Dairy Sci.* 60: 431-436.
- Jönsson, G., Pehrson, B., Lundström, K., Edqvist, L. E. & Blum, J. V. 1980. Studies on the effect of the amount of calcium in the prepartum diet on blood levels of calcium, magnesium, inorganic phosphorus, parathyroid hormone and hydroxyproline in milk fever prone cows. *Zbl. Vet. Med. A* 27: 175-185.
- Kaneko, J. J. 1989. *Clinical Biochemistry of domestic animals*. 4th ed. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA, p 900.
- Kemp, A. & Hart, M. L. 1957. Grass tetany in grazing milking cows. *Neth. J. Agric Sci.* 5(4): 4-16. (ref. Sanders & Sanders 1982)
- Khorasani, G. H. & Armstrong, D. G. 1990. Effect of sodium and potassium level on the absorption of magnesium and other macrominerals in sheep. *Livest. Prod. Sci.* 24: 223-235.
- Kichura, T. A., Horst, R. L. & Beitz, D. C. 1982. Relationships between prepartal dietary calcium and phosphorus, vitamin D metabolism and parturient paresis in dairy cows. *J. Nutr.* 112: 480-487.
- Leclerc, H. & Block, E. 1989. Effects of reducing dietary cation anion balance for prepartum dairy cows with specific reference to hypocalcemic parturient paresis. *Can. J Anim. Sci.* 69: 411-423.
- Lema, M., Tucker, W. B., Aslam, M., Shin, I. S., Le Ruyet, P. & Adams, G. D. 1992. Influence of calcium chloride fed prepartum on severity of edema and lactational performance of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 75: 2388-2393.
- Leonhard-Marek, S. & Martens, H. 1996. Effects of potassium on magnesium transport across rumen epithelium. *Am. J. Physiol.* 271: G1034-G1038.
- Leonhard, S., Martens, H. & Gäbel, G. 1989. New aspects of magnesium transport in ruminants. *Acta Vet. Scand.* 86:146-151 (Suppl.).
- Littledike, E. T. & Horst, R. L. 1982. Vitamin D3 toxicity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65: 749-759.
- Littledike, E. T., Young, J. W. & Beitz, D. C. 1981. Common metabolic diseases of cattle: ketosis, milk fever, grass tetany, and downer cow complex. *J. Dairy Sci.* 64: 1465-1482.
- Lomba, F., Chauvaux, G., Teller, E., Lengele, L. & Bienfet, V. 1978. Calcium digestibility in sows as influenced by the excess of alkaline ions over stable acid ions in their diets. *Br. J. Nutr.* 39: 425-429.
- Madsen, F. C., Lentz, D. E., Miller, J. K Lowrey-Harnden, D. & Hansard, S. L. 1976. Dietary carbohydrate effects upon magnesium metabolism in sheep. *J. Anim. Sci.* 5: 1326-1322.
- Martens, H. 1993. Minerals and vitamins in animal nutrition. Internordic postgraduate course in animal nutrition 2.8.-13.8.1993, Helsinki.
- Martz, F. A., Belo, A. T., Weiss, M. F. & Belyea, R. L. 1990. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 73: 1288-1295.
- Martz, F. A., Belo, A. T., Weiss, M. F. & Belyea, R. L. 1999. True absorption of calcium and phosphorus from corn silage fed to nonlactating, pregnant cows. *J. Dairy Sci.* 82: 618-622.
- Mongin, P. 1981. Recent advances in dietary anion-cation balance: applications in poultry. *Proc. Nutr. Soc.* 40: 285-294.
- Morrow, D. A. 1976. Fat cow syndrome. *J. Dairy Sci.* 1976. 59: 1625-1629.
- Mosel, van, M., Klooster van't, A. Th., Mosel, van, F. & Kuilen van der, J. 1993. Effects of reducing dietary [(Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>)-(Cl<sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)] on the rate of calcium mobilisation by dairy cows at parturition. *Res. Vet. Sci.* 54: 1-9.
- Mosel, van, M., Wouterse, H. S., Klooster van't, A. Th. & Mosel van, F. 1994. Effects of reducing dietary Na + K - Cl -SO<sub>4</sub> on bone in dairy cows at parturition. *Res. Vet. Sci.* 56 (3): 270-276.

- Murer, H. & Hildmann, B. 1981. Transcellular transport of calcium and inorganic phosphate in the small intestinal epithelium. *Am. J. Physiol.* 240: G409-G416.
- Mutanen, M. & Voutilainen, E. 1993. Ravintofysiologia. In: Kliininen ravitsemus. Aro, A., Mutanen, M., Nuutinen, L. & Uusitupa, M. (eds.) Kustannus Oy Duodecim, Helsinki, p 106.
- Nestor, K. E., Jr, Hemken, R. W. & Harmon, R. J. 1988. Influence of sodium chloride and potassium bicarbonate on udder edema and selected blood parameters. *J. Dairy Sci.* 71: 366-372.
- Newton, G. L., Fontenot, J. P., Tucker, R. E. & Polan, C. E. 1972. Effects of high dietary potassium intake on the metabolism of magnesium by sheep. *J. Anim. Sci.* 35: 440-445.
- NRC. 1978. National Research Council. Nutrient requirements of Dairy Cattle. Fifth revised edition, National Academy of Sciences, Washington DC, 76 p.
- NRC. 1989. National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle, ed 6. Washington DC, National Academy of Sciences, 157 p.
- Oetzel, G. R. 1993. Use of anionic salts for prevention of milk fever in dairy cattle. *Comp. Cont. Ed. Pract. Vet. Food Anim.* 15: 1138-1146.
- Oetzel, G. R. & Barmore, J. A. 1993. Intake of a concentrate mixture containing various anionic salts fed to pregnant, nonlactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76: 1617-1623.
- Oetzel, G. R., Fettman, M. J., Hamar, D. W. & Olson, J. D. 1991. Screening of anionic salts for palatability, effects on acidbase status and urinary calcium excretion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74: 965-971.
- Oetzel, G. R., Olson, J. D., Curtis, C. R. & Fettman, M. J. 1988. Ammonium chloride and ammonium sulfate for prevention of parturient paresis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71: 3302-3309.
- Olson, J. D. 1991. Relationship of nutrition to abomasal displacement and parturient paresis. *Bov. Prac.* No 26: 88-91.
- Olson, W. G., Jorgensen, N. A., Schultz, L. H. & Deluca, H. F. 1973. 25-Hydroxycholecalciferol (25-OHD) II. Efficacy of parenteral administration in prevention of parturient paresis. *J. Dairy Sci.* 56: 889-895.
- Payne, J. M. & Payne, S. 1987. Indicators of magnesium. In: *The metabolic profile test.* Oxford University Press, New York, pp 43-49.
- Peeler, H. T. 1972. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. *J. Anim. Sci.* 35: 695-712.
- Phillippo, M., Reid, G. W. & Nevison, I. M. 1994. Parturient hypocalcaemia in dairy cows: effects of dietary acidity on plasma minerals and calciotropic hormones. *Res. Vet. Sci.* 56: 303-309.
- Phillips, C. J. C., Chiy, P. C., Arney, D. R. & Kärt, O. 2000. Effects of sodium fertilizers and supplements on milk production and mammary gland health. *J. Dairy Res.* 67: 1-12.
- Poe, J. H., Greene, L. W., Schelling, G. T., Byers, F. M. & Ellis, W. C. J. 1985. Effects of dietary potassium and sodium on magnesium utilization in sheep. *Anim. Sci.* 60: 578-582.
- Popplewell, J. C., Topliff, D. R., Freeman, D. W. & Breazile, J. E. 1993. Effects of dietary cation-anion balance on acid base balance and blood parameters in anaerobically exercised horses. 1993. *J. Equine Vet. Sci.* 13: 10, 552-555.
- Pyörälä, E., Pyörälä, S. Mero, M. & Adlercreutz, H. 1992. Oestrogen and milk fever - is there a link? *Acta Vet. Scand.* 33: 335-339.
- Radostits, O. M., Blood, D. C. & Gay, C. G. 1994. *Veterinary Medicine.* 8th ed. Balliere Tindal, London, p 1727.
- Randall, W. E., Hemken, R. W., Bull, L. S. & Douglas, L. W. 1974. Effect of dietary sodium and potassium on udder edema in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 57: 472-475.
- Ram, L., Schonewille, J. Th., Klooster van't, A. Th. & Beynen, A. C. 1998. Magnesium absorption by wethers fed potassium bicarbonate in combination with different dietary magnesium concentrations. *J. Dairy Sci.* 81: 2485-2492.
- Ramberg, C. F., Johnson, E. K., Fargo, R. D. & Kronfeld, D. F. 1984. Calcium homeostasis in cows with special reference to parturient hypocalcemia. *Am. J. Physiol.* 246: R698-R704.
- Ramberg, C. F. Jr., Mayer, G. P., Kronfeld, D. S. & Potts, J. T. Jr. 1976. Dietary calcium, calcium kinetics and plasma parathyroid hormone concentration in cows. *J. Nutr.* 106: 671-679.
- Randell, W.E., Hemken, R.W., Bull, L.S., Douglas, L.W. 1974. Effect of dietary sodium and potassium on udder edema in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 57, 472-475

- Rayssiguier, Y. & Poncet, C. 1980. Effect of lactose supplement on digestion of lucerne hay by sheep. II. Absorption of magnesium and calcium in the stomach. *J. Anim. Sci.* 51: 186-192.
- Rebhan, H. J. & Donker, J. D. 1960. Effect of condition of animal on the creatinine excretion of bovine animals. *J. Dairy Sci.* 43: 1639-1642.
- Reinhardt, T. A., Horst, R. L. & Goff, P. 1988. Calcium, phosphorus, and magnesium homeostasis in ruminants. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Prac.* 4: 2, 331-350.
- Riond, J.-L., Kocabagli, N., Spichiger, U. E. & Wianner, M. 1995. The concentration of ionized magnesium in serum during the periparturient period of non-paretic dairy cows. *Vet. Res. Com.*, 19: 195-203.
- Romo, G. A., Kellems, R. O., Powell, K. & Wallentine, M. V. 1991. Some blood minerals and hormones in cows fed variable mineral levels and ionic balance. *J. Dairy Sci.* 74: 3068-3077.
- Rook, J. A. F. & Storry, J. E. 1962. Magnesium in the nutrition of farm animals. *Nutr. Abstr. Rev.* 32: 1055-1077.
- Rukkamsuk, T., Kruij, T. A. M. & Wensing, T. 1999. Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. *Vet. Quart.* 21: 71-77.
- Sachs, M., Bar, A., Cohen, R., Mazur, Y., Mayer, E. & Hurwitz, S. 1977. Use of 1 $\alpha$ -hydroxycholecalciferol in the prevention of bovine parturient paresis. *Am. J. Vet. Res.* 38: 2039-2041.
- Sanchez, W. K., Beede, D. K. & Cornell, J. A. 1994. Interactions of sodium, potassium, and chloride on lactation, acidbase status, and mineral concentrations. *J. Dairy Sci.* 77: 1661-1675.
- Sanders, D. E. & Sanders, J. A. 1981. Chronic udder edema in dairy cows. *J. Am. Med. Vet. Assoc.* 178: 1273-1274.
- Sanders, D. E. & Sanders, J. A. 1982. Potassium and udder edema. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 181: 324
- Sansom, B. F. & Manston, R. & Vagg, M. J. 1983. Magnesium and milk fever. *Vet. Rec.* 7: 447-449.
- Sasser, R. G., Falk, D. E. & Ross, R. H. 1979. Estrogen in plasma of parturient paretic and normal cows. *J. Dairy Sci.* 62: 551-556.
- Schonewille, J. Th., Klooster van't, A. Th. & Beynen, A. C. 1994a. High phosphorus intake depresses apparent magnesium absorption in pregnant heifers. *J. Physiol. Anim. Nutr.* 71: 15-21.
- Schonewille, J. Th., Klooster van't, A. Th. & Beynen, A. C. 1994b. The addition of extra calcium to a chloride-rich ration does not affect the absolute amount of calcium absorbed by non-pregnant, dry cows. *J. Physiol. Anim. Nutr.* 72:272-280.
- Schonewille, J. Th., Klooster van't, A. Th., Cone, J. W., Kalsbeek-Van der Valk, H. J. Wouterse, H. & Beynen, A. C. 1999c. Neither native nor popped cornmeal in the ration of dry cows affects magnesium absorption. In: Magnesium absorption in ruminants. Schonewille, J. T. Doctoral Thesis, University of Utrecht, Netherlands, pp 39-53.
- Schonewille, J. Th., Klooster van't, A. Th., Dirkzwager, A. & Beynen, A. C. 1994c. Stimulatory effect of an anion (chloride)-rich ration on apparent calcium absorption in the dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 40: 233-240.
- Schonewille, J. Th., Klooster van't, A. T., Wouterse, H. & Beynen, A. C. 1999a. Effects of intrinsic potassium in artificially dried grass and supplemental potassium bicarbonate on apparent magnesium absorption in dry cows. *J. Dairy Sci.* 82: 1824-1830.
- Schonewille, J. Th., Beynen, A. C., Klooster van't, A. Th., Wouterse, H. & Ram, L. 1999b. Differential effects of the intake of equimolar amounts of either potassium bicarbonate, -chloride or - citrate on magnesium absorption in wethers. In: Magnesium absorption in ruminants. Schonewille, J. T. Doctoral Thesis, University of Utrecht, Netherlands, pp 39-53.
- Schonewille, J. Th., Ram, L., Klooster van't A. Th., Wouterse, H. & Beynen, A. C. 1997. Intrinsic potassium in grass silage and magnesium absorption in dry cows. *Livest. Prod. Sci.* 48: 99-110.
- Seymour, W. M., Nocek, J. E., Siciliano-Jones, J. & English, J. E. 1992. Effect of feeding an anionic diet pre-partum on blood, health, reproductive and productive parameters in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 75: 297 (Suppl. 1).
- Shappell, N. W., Herbein, J. H., Defetos, L. J. & Aiello, R. J. 1987. Effects of dietary calcium and age on parathyroid hormone, calcitonin and serum and milk minerals in the periparturient dairy cow. *J. Nutr.* 117: 201-207.
- Stacy, B. B. & Wilson, B. W. 1970. Acidosis and hypercalciuria: renal mechanisms affecting calcium, magnesium and sodium excretion in sheep. *J. Physiol.* 210: 549-564.



- Summers, J. D. & Bedford, M. 1994. Canola meal and diet acid-base balance for broilers. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 335-339.
- Takagi, H. & Block, E. 1991a. Effects of manipulating dietary cation-anion balance in sheep. *J. Dairy Sci.* 74: 4202-4214.
- Takagi, H. & Block, E. 1991b. Effects of various dietary cation-anion balances on response to experimentally induced hypocalcemia in sheep. *J. Dairy Sci.* 74: 4215-4224.
- Takagi, H. & Block, E. 1991c. Effects of reducing dietary cation-anion balance on calcium kinetics in sheep. *J. Dairy Sci.* 74: 4225-4237.
- Tanaka, Y. & DeLuca, H. F. 1973. The control of 25-hydroxyvitamin D metabolism by inorganic phosphorus. *Arch. Biochem. Biophys.* 154: 566 (ref. Horst et al. 1997).
- Tasker, J. B. 1967. Fluid and electrolyte studies in the horse. IV. The effects of fasting and thirsting. *Cornell Vet.* 57: 658-667.
- Tauriainen, S., Sankari, S., Pyörälä, S. & Syrjälä-Qvist, L. 1998a. Effect of anionic salts in concentrate mixture and calcium intake on some blood and urine minerals, acid-base balance and feed intake of dry pregnant cows on grass silage based feeding. *Agric. Food Sci. Finl.* 7: 523-533.
- Tauriainen, S., Sankari, S., Pyörälä, S. & Syrjälä-Qvist, L. 1998b. Effect of anionic salts in concentrate mixture and magnesium intake on some blood and urine minerals, acid-base balance and feed intake of dry pregnant cows on grass silage based feeding. *Agric. Food Sci. Finl.* 7: 535-543.
- Tauriainen, S., Sankari, S. & Syrjälä-Qvist, L. 1998c. Effect of anionic salts in concentrate mixture on some blood and urine minerals, acid-base balance and feed intake of dry pregnant cows on grass silage based feeding with high calcium intake. *Agric. Food Sci. Finl.* 7: 545-552.
- Tauriainen, S., Sankari, S., Pyörälä, S. & Syrjälä-Qvist, L. 2000a. Effect of anionic salts and potassium intake on some blood and urine minerals and acid-base balance of dry pregnant cows on grass silage based feeding with a high magnesium intake. (accepted for publication to *J. Anim. Feed Sci.*)
- Tauriainen, S., Sankari, S., Pyörälä, S. & Syrjälä-Qvist, L. 2000b. Effect of anionic salts on some blood and urine minerals, acid-base balance and udder oedema of dry pregnant cows on cutted grass based feeding. (submitted)
- Tomas, F. M. & Potter, B. J. 1976. The site of magnesium absorption from the ruminant stomach. *Br. J. Nutr.* 36: 37-45.
- Tucker, W. B., Harrison, G. A. & Hemken, R. W. 1988. Influence of dietary cation-anion balance on milk, urine and rumen fluid in lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71: 346-354.
- Tucker, W. B., Hogue, J. F., Adams, G. D., Aslam, M., Shin, I. S. & Morgan, G. 1992. Influence of dietary cation-anion balance during the dry period on the occurrence of parturient paresis in cows fed excess calcium. *J. Anim. Sci.* 70:1238-1250.
- Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E. & Huhtanen, P. 2000. *Feed Tables and Feeding Recommendations* (in Finnish). 3rd Edition. Helsinki, pp. 99
- Underwood, E. J. & Suttle, N. F. 1999. *The mineral nutrition of livestock*. 3rd ed. CAB International, Wallingford, UK, 614 p.
- Vagg, M. J. & Payne, J. M. 1970. The effect of ammonium chloride-induced acidosis on calcium metabolism in ruminants. *Br. Vet. J.* 126: 531-537.
- Valio Ltd. 2000. Mineral content of silage in Finland. Finland.
- Wang, C. & Beede, D. K. 1992a Effects of ammonium chloride and sulfate on acid-base status and calcium metabolism of dry Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 75: 820-828.
- Wang, C. & Beede, D. K. 1992b Effects of diet magnesium on acidbase status and calcium metabolism of dry cows fed acidogenic salts. *J. Dairy Sci.* 75: 829-836.
- Wang, C., Beede, D. K., Donovan, G. A., Archbald, L. F., DeLorenzo, M. A. & Sanchez, W. K. 1991. Effects of dietary negative cation-anion difference and high calcium content prepartum on calcium metabolism, health, lactational and reproductive performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 74: 275 (Suppl. 1).
- Ward, G., Harbers, L. G. & Blaha, J. J. 1979. Calcium containing crystals in alfalfa: Their fate in cattle. *J. Dairy Sci.* 62:715-722.
- Wasserman, R. H. 1984. Bones. In: *Duke's physiology of domestic animals*. Swenson, M. J. (ed.) 10th ed. Comstock. Cornell University Press, USA, pp 467-485.

Waterman, D. F., Swenson, T. S., Tucker, W. B. & Hemken, R. W. 1991. Role of magnesium in the dietary cation-anion balance equation for ruminants. *J. Dairy Sci.* 74: 1866-1873.

West, J. W. 1993. Cation-anion balance: Its role in lactating cow nutrition. *Feedstuffs*, May No 10: 14-15.

Whitaker, D. A. & Kelly, J. M. 1982. Incidence of clinical and subclinical hypomagnesaemia in dairy cows in England and Wales. *Vet. Rec.* 110: 450-451.

Wiggers, K. D., Nelson, D. K. & Jacobson, N. L. 1975. Prevention of parturient paresis by a low-calcium diet prepartum: a field study. *J. Dairy Sci.* 58: 430-431.

Won, J-H, Oishi, N., Kawamura, T., Suriwaka, T., Fukuda, S., Sato, R., & Naito, Y. 1996. Mineral metabolism in plasma, urine and bone of periparturient cows fed anionic diets with different calcium and phosphorus contents. *J. Vet. Med. Sci.* 58 (12): 1187-1192.

Yarrington, J. F., Capen, C. C., Black, H. E. & Re, R. 1977. Effects of a low calcium prepartal diet on calcium homeostatic mechanisms in the cow: morphologic and biochemical studies. *J. Nutr.* 107: 2244-2256.