ПРОУЧВАНЕ В МЛЕЧНИ ГОВЕДОВЪДНИ ФЕРМИ ЗА СУБКЛИНИЧНА ХИПОКАЛЦЕМИЯ ПРИ КРАВИ

Елена Станчева*, Тончо Пенев, Гергана Йотова, Димо Димов

Катедра „Екология и хигиена на животните", Тракийски университет, Стара Загора, България

*Автор за кореспонденция: elena.stancheva@trakia-uni.bg

Резюме

Настоящото проучване има за цел да оцени концентрацията на йонизиран калций (Ca^{2+}) при млечни крави в ранния следотелен период и да изследва връзката му със субклиничната хипокалцемия като ранен индикатор за метаболитни нарушения. Изследването обхвана четири ферми с крави от първа до четвърта лактации, без видими признаци на заболяване. Концентрацията на Ca^{2+} бе определена чрез кръвни проби от опашната вена на три времеви точки – непосредствено след отелването, на 12-ия и на 24-ия час – с портативен йонометър LAQUAtwin Ca-11C. Данните бяха обработени статистически чрез средна стойност, минимум, максимум и стандартно отклонение. Във Ферма 1, 2 и 4 концентрациите на Ca^{2+} бяха под физиологичния диапазон, докато във Ферма 3 те отразяваха нормален калциев баланс. Това демонстрира, че пониженият йонизиран калций може да бъде открит преди появата на клинични симптоми и потвърждава, че Ca^{2+} е чувствителен и надежден биомаркер за ранна диагностика на субклинична хипокалцемия, като навременното му измерване позволява превантивни интервенции и оптимизация на здравето, продуктивността и репродуктивните показатели на млечните крави.

Ключови думи: йонизиран калций, субклинична хипокалцемия, млечни крави, следотелен период, биомаркер

Въведение

Хипокалцемията при кравите за мляко представлява състояние при което има понижени нива на калций в кръвта (Goff, 2008, Reinhardt et al., 2011). Това състояние обикновено се среща началото на лактацията или дори още преди лактацията (Goff, 2008, Reinhardt et al., 2011). Хипокалцемията обикновено има голямо значение за лактационната крива, в това число и за пикът от лактацията (Goff, 2008, Reinhardt et al., 2011). Пикът на лактацията е критичен физиологичен период при млечните крави, настъпващ между 4-та и 8-ма седмица след отелване, когато продукцията на мляко достига максимални стойности и определя значителна част от общия добив за цялата лактация (Wood, 1967; Roche et al., 2009). При високопродуктивни млечни крави дневната загуба на калций чрез млякото може да достигне 50–60 грама/ден (Goff, 2018), което представлява значително натоварване за калциевата хомеостаза. Тази загуба съвпада с периода на интензивно начало на лактацията, когато организма на кравата трябва бързо да мобилизира калций от костната система и да увеличи абсорбцията от червата, за да поддържа физиологичните концентрации на йонизирания Ca^{2+}

в кръвта. Хипокалцемията може да бъде два вида – клинична и субклинична. Субклиничната (скритата) хипокалцемия зависи от концентрацията на йонизирания калций в кръвта на кравите (Neves et al., 2018; McArt & Neves, 2020). Йонизираният калций (Ca^{2+}) представлява биологично активната форма на калция, отговорна за поддържане на мускулната контракция, нервната проводимост, съсирването на кръвта, хормоналната секреция и функциите на имунната система (Kimura et al., 2006). Клиничната хипокалцемия (млечна треска) е класически проявен синдром, свързан с остър дефицит на серумен калций, който се характеризира с ясно изразена клинична симптоматика – мускулна слабост, тремор, пареза и в тежки случаи – кома и летален изход (Goff, 2014). Честотата на заболяването обикновено варира между 3 и 10% в зависимост от породата, възрастта и управлението на храненето (Lean et al., 2006). Последиците от клиничната форма са многопосочни: повишен риск от задържане на плацента, травми при падане, вторични инфекции вследствие на продължително залежаване, както и остро намаляване на млечната продуктивност (DeGaris & Lean, 2008). Терапевтичният подход изисква незабавна интервенция чрез интравенозно приложение на калциеви соли, комбинирано с поддържаща терапия, целяща стабилизиране на калциевия метаболизъм (Goff, 2008). Субклиничната хипокалцемия (SHCa) протича без явни клинични признаци, но с трайно понижени серумни концентрации на йонизиран Ca^{2+} (<1.2 mmol/L), което предопределя нейното по-широко разпространение и дългосрочно неблагоприятно въздействие върху здравния статус и продуктивността на животните (Neves et al., 2018; McArt & Neves, 2020). Според епидемиологични данни до 40–50% от многостомашните крави развиват SHCa в първите дни след отелването (Reinhardt et al., 2011). Въпреки липсата на остра симптоматика, последиците от това състояние са клинично значими: нарушена контрактилност на търбуха и матката, отслабена функция на имунната система и повишена предразположеност към метрит, ретенция на плацентата, мастит и кетоза (Chapinal et al., 2012; Martinez et al., 2012). В допълнение, SHCa се асоциира с редуциран млеконадой, забавено достигане на пика на лактацията и понижена репродуктивна ефективност, изразяваща се в удължен сервизен период и намалена заплодяемост (Roberts et al., 2012; Neves et al., 2018). Концентрацията на йонизираният калций е ключов фактор за нормалното протичане на ранната лактация, а хипокалцемията – особено в субклиничната си форма – има съществено значение за продуктивността и здравето на млечните крави. Това обуславя необходимостта от задълбочени изследвания за разпространението и последствията на субклиничната хипокалцемия в говедовъдни ферми за мляко, което е целта на настоящето изследване.

Материал и метод

Изследването е направено в четири говедовъдни ферми за мляко при крави от първа до четвърта лактации. Всички включени животни към момента на изследването са без видими признаци на заболявания. Изборът на крави от различни лактации позволи оценка на вариациите на йонизирания калций, свързани с физиологичния статус и възрастта на животните, съгласно препоръките в съществуващата литература. За всяко животно е отчетена концентрацията на йонизирания калций чрез кръвни проби, получени от опашната вена (vena caudalis mediana). Определянето на концентрацията на йонизиран калций (Ca^{2+}, mmol/L) на всяка крава бе извършено в три етапа – непосредствено след отелването (0 час),

на 12-ия и на 24-ия час след раждането. Изследванията са проведени с помощта на портативен йонометър LAQUAtwin Ca-11C (HORIBA Advanced Techno Co., Ltd.), метод, валидиран в научната литература като надежден за бързо – полево измерване на йонизиран Ca^{2+} в производствените условия на фермата. Този подход елиминира необходимостта от лабораторна обработка, като намалява риска от промени в концентрацията вследствие на окисление или загуба на йони при съхранение. Използването на три времеви точки позволява проследяване на динамиката на йонизирания калций в критичния раннопостпартален период и идентифициране на потенциални спадове, които могат да останат незабелязани при еднократно измерване. Статистическата обработка и графичното представяне на данните бе извършена с помощта на Microsoft Excel и програма JASP (Version 0.95.2). За определяне статистически значимите разлики в концентрацията на йонизиран Ca^{2+} е използван Post Hoc Tests. За определяне влиянието на контролираните фактори върху концентрацията на йонизиран Ca^{2+} е използван анализ на варианса ANOVA. На таблица 1 е представен състава на дажбите по групи в изследваните ферми.

Таблица 1. Състав на дажби в сухостойна и лактационна групи в изследваните ферми

Table 1. Composition of rations for dry and lactation groups in the studied farms

Компоненти / Components	Ферма 1 / Farm 1		Ферма 2 / Farm 2		Ферма 3 / Farm 3		Ферма 4 / Farm 4	
	Сухостойна група / Dry Cow	Лактационна група / Lactating	Сухостойна група / Dry Cow	Лактационна група / Lactating	Сухостойна група / Dry Cow	Лактационна група / Lactating	Сухостойна група / Dry Cow	Лактационна група / Lactating
Слама / Straw	3 кг/kg	1 кг/kg	5.3 кг/kg	1.2 кг/kg	5 кг/kg	1.2 кг/kg	1.5 кг/kg	500 г/g
Сенаж / Sorghum silage	30 кг/kg	38 кг/kg	10 кг/kg	22 кг/kg	4.2 кг/kg	6.5 кг/kg	20 кг/kg	15 кг/kg
Царевичен силаж / Corn silage	-	-	10 кг/kg	22 кг/kg	4 кг/kg	4 кг/kg	-	12 кг/kg
Царевица / Maize	5 кг/kg	5.7 кг/kg	508 г/g	1.3 кг/kg	5 кг/kg	2 кг/kg	1.5 кг/kg	2 кг/kg
Ечемик / Barley	-	3 кг/kg	1.1 кг/kg	3.9 кг/kg	-	3 кг/kg	-	-
Пшеница / Wheat	-	3 кг/kg	508 г/g	1.3 кг/kg	-	3 кг/kg	-	-
Овес / Oats	-	-	-	-	-	-	-	1.5 кг/kg
ДДЖ / Пивоварна каша / DDG / Brewer’s grain	-	-	-	7 кг/kg	-	2.5 кг/kg	-	2.5 кг/kg
Бирена каша / Brewer’s grain	-	5 кг/kg	-	7 кг/kg	-	6 кг/kg	-	6 кг/kg
Комбиниран фураж / Compound feed	5 кг/kg	8 кг/kg	-	-	6.35 кг/kg	-	-	-
Люцерна / Alfalfa	-	1.8 кг/kg	-	-	1.8 кг/kg	-	-	-
Слънчогледов шрот / Sunflower meal	-	-	2.4 кг/kg	1.1 кг/kg	-	3 кг/kg	-	3 кг/kg
Рапичен шрот / Rapeseed meal	-	-	1.7 кг/kg	1.7 кг/kg	-	-	-	-
Соев шрот / Soybean meal	-	-	508 г/g	1.7 кг/kg	-	-	-	-
Витамини / премикс / Vitamins / Premix	150 г/g	-	50 г/g	30 г/g	-	200 г/g	150 г/g	200 г/g
Сол / Salt	120 г/g	-	20 г/g	100 г/g	-	100 г/g	120 г/g	100 г/g
Креда / Chalk	-	-	20 г/g	150 г/g	-	90 г/g	-	90 г/g
Сода / Soda	-	-	100 г/g	100 г/g	-	200 г/g	-	200 г/g
Дрожди / Yeast	-	-	-	-	-	30 г/g	-	30 г/g
Токсинбайндер / Toxin binder	-	-	-	-	-	25 г/g	-	25 г/g
Общо / Total	23.27 кг/kg	43.15 кг/kg	19.9 кг/kg	55.3 кг/kg	13.7 кг/kg	40 кг/kg	23.27 кг/kg	43.15 кг/kg

Резултати и обсъждане

В таблица 2 са представени данните за концентрацията на йонизиран калций (Ca^{2+}, mmol/L) между отделните ферми.

Таблица 2. Дескриптивно-статистически данни за концентрацията на йонизиран калций по ферми

Table 2. Descriptive statistics on ionized calcium concentration by farm

Ферма / Farm	Средна стойност (mmol/L) / Mean value (mmol/L)	Мин. / Min.	Макс. / Max.	SD / SD
Ферма 1 / Farm 1	0.63a	0.5	0.7	0.12
Ферма 2 / Farm 2	0.90a	0.8	1.0	0.10
Ферма 3 / Farm 3	3.88b	3.2	4.4	0.36
Ферма 4 / Farm 4	0.37a	0.2	0.6	0.21

a-b - статистически значими разлики между проучваните ферми при $P < 0,05$

a–b – statistically significant differences between the studied farms at $P < 0.05$

Анализът на концентрациите на йонизиран калций (Ca^{2+}) в четирите изследвани ферми показва значителни различия, както по средни стойности, така и по вътрешногрупова вариабилност. Във ферма 1 отчита средна концентрация от 0.63 mmol/L, а Ферма 2 – 0.90 mmol/L, което е под физиологичния диапазон за млечни крави (1.0–1.3 mmol/L) и индикира наличие на субклинична хипокалцемия (Neves et al., 2018; McArt & Neves, 2020). Ниската вариабилност в тези ферми предполага относителна хомогенност на стадото, но в същото време показва, че голяма част от животните са изложени на сходен метаболитен риск, включително намален пик на лактацията и повишена податливост към метаболитни нарушения, в съответствие с данните на Goff (2008).

Ферма 3 се отличава със средна концентрация от 3.88 mmol/L. При тази ферма има статистически значима разлика спрямо всички останали ферми ($P < 0,05$). Тези стойности надвишават нормалния физиологичен диапазон и вероятно се дължат на суплементация с калций или различия във физиологичния статус на животните. По-голямото стандартно отклонение показва, че част от стадото има различен калциев статус, което може да е свързано със стадий на лактация или индивидуални различия (Goff, 2018).

Ферма 4 отчита критично ниска средна стойност – 0.37 mmol/L, като високата вариабилност показва значителна вътрешногрупова хетерогенност. Това предполага, че част от животните са изложени на висок риск от субклинична или клинична хипокалцемия, което съответства на наблюденията на Chapinal et al. (2012) и Martinez et al. (2012), които свързват ниските нива на йонизиран калций в ранната лактация с повишен риск от метаболитни и

репродуктивни усложнения, включително мастит и ретенция на плацентата. Изследванията на други автори показват сходни тенденции. Reinhardt et al. (2010) установяват, че субклиничната хипокалцемия е разпространена при 25–54% от млечните крави в САЩ в зависимост от поредната лактация. Подобни резултати са докладвани и от Neves et al. (2018) и McArt & Neves (2020), като всички автори подчертават критичната роля на йонизирания калций за продуктивността, пикът на лактацията и здравословното състояние на стадото. Ферми 1 и 2 показват профил на субклинична хипокалцемия с ниска вариабилност, Ферма 3 демонстрира високи нива на Ca^{2+} с по-голяма индивидуална вариабилност, а Ферма 4 се характеризира с критично ниски концентрации и значителна хетерогенност. Тези различия подчертават необходимостта от мониторинг на йонизирания калций и адаптиране на хранителните стратегии в зависимост от стадия на лактация и физиологичния статус на животните (Wood, 1967; Roche et al., 2009; Goff, 2008; Neves et al., 2018).

Таблица 3. Анализ на варианса за влияние на фактора ферма върху концентрацията на йонизиран калций в кръвта на изследваните крави

Table 3. Analysis of variance for the effect of the farm factor on the concentration of ionized calcium in the blood of the studied cows

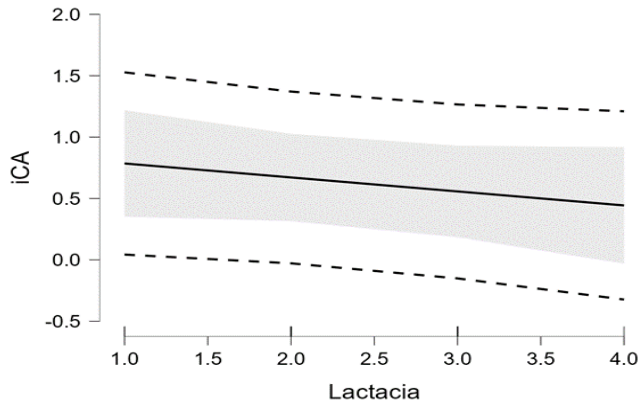
Controlled factors / Контролирани фактори	Degrees of freedom / Степени на свобода	Ca^{2+} / Ca^{2+}	
		MS	F P
Farm / Ферма	3	14.97	185.7 ***
Error / Грешка	13	0.081	–

Забележка: - ***значимост при P<0,001; - няма значим ефект

Note: – *** significance at P < 0.001; – no significant effect.

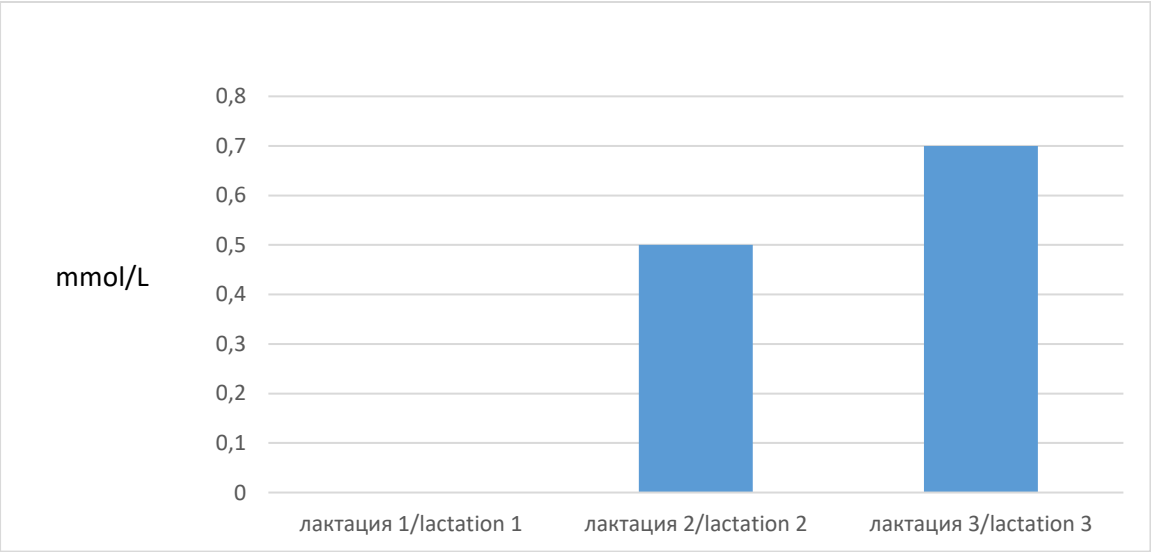
На таблица 3 е представен анализ на варианса за влияние на фактора ферма върху концентрацията на йонизиран калций в кръвта. От данните става ясно, че фактора ферма има значително влияние върху концентрацията на Ca^{2+} в кръвта на изследваните крави. Това по всяка вероятност се дължи на храненето в сухостойния и ранния лактационен период. Това изисква подробен химичен анализ на дажбите в изследваните ферми, който ще бъде извършен на следващ етап. Въпреки че при проведен еднофакторен анализ на варианса поредната лактация не показва съществено влияние върху концентрацията на Ca^{2+} се наблюдават определени тенденции (фигура 1).

От представеното на фигура 1 се вижда че с нарастване на поредната лактация стойностите на йонизиран калций се понижават.



Фигура 1. Влияние на граничните средни стойности на поредната лактация върху концентрацията на йонизиран калций в кръвта

Figure 1. Effect of the marginal means of the successive lactation on the concentration of ionized calcium in the blood.



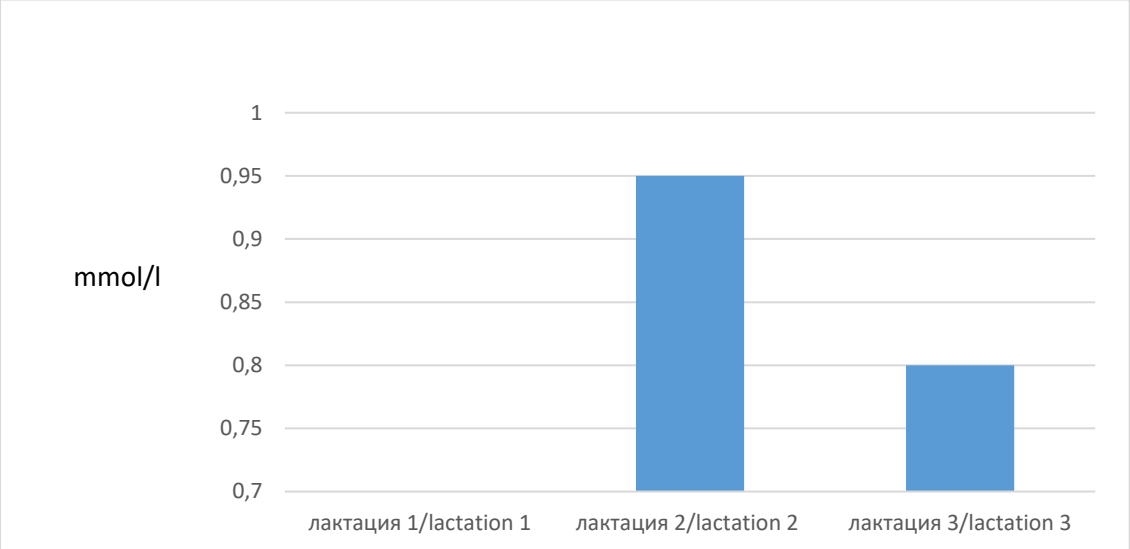
Фигура 2. Средни стойности на йонизиран калций (mmol/L) при крави от Ферма 1 по лактации

Figure 2. Mean values of ionized calcium (mmol/L) in cows from Farm 1 by lactations

Тоест въпреки, че между отделните ферми се забелязват разлики в тенденцията за концентрация на йонизиран калций, като цяло с увеличаване на поредната лактация съдържанието на Ca^{2+} намаляват.

Средните стойности по поредна лактация и по ферми са представени графично на Фигури 2–5.

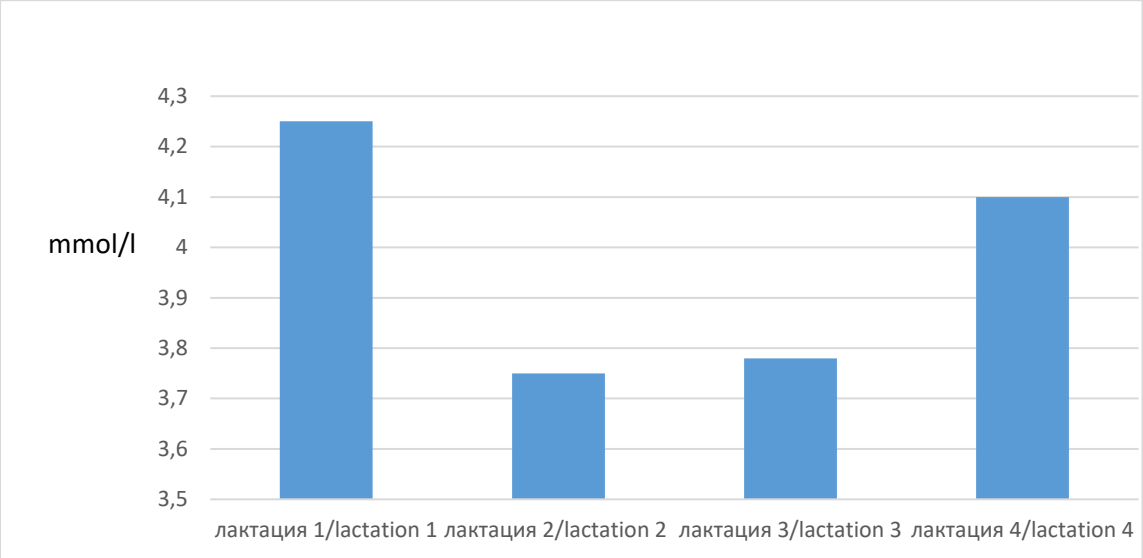
Средните стойности на йонизирания калций (iCa, mmol/L) при крави от ферма 1 показват възходяща тенденция от втора (0.47 mmol/L) към трета лактация (0.65 mmol/L). По-ниските стойности при крави във втора лактация съответстват на наблюденията на Szenci et al. (1994) и Venjakob et al. (2018), докато Walter et al. (2022) не съобщават разлики между лактационните групи. Резултатите от настоящото изследване вероятно отразяват по-добра физиологична адаптация на калциевия метаболизъм при крави с по-висока поредна лактация, като ниските стойности при втора лактация могат да индикират за субклинична хипокалцемия. Ниските стойности отразяват ограничена наличност на калций за клетъчни и мускулни функции, потенциално намалявайки миометралната активност и транспорта на калций през мембраните, с повишен риск от постпартални метаболитни и инфекциозни усложнения.



Фигура 3. Средни стойности на йонизиран калций при крави от Ферма 2 по лактации

Figure 3. Mean values of ionized calcium in cows from Farm 2 by lactations

Средните стойности на йонизирания калций (iCa, mmol/L) при крави от ферма 2 показват най-високи концентрации при втора лактация (~0.93 mmol/L), докато при трета лактация се наблюдава отчетлив спад (~0.78 mmol/L), което представлява съществена разлика (~0.15 mmol/L) и може да бъде клинично значимо по отношение на риска от хипокалциемия. Подобен спад на iCa при по-високи поредни лактации е описан от Walter et al. (2022), докато Szenci et al. (1994) и Venjakob et al. (2018) съобщават за стабилни или по-високи концентрации при крави на повече лактации. Това показва, че влиянието на поредната лактация върху калциевия статус не е универсално и зависи от множество фактори. В настоящото изследване наблюдаваният спад при третата лактация вероятно отразява кумулативно метаболитно натоварване, повишени продуктивни изисквания или недостатъчно хранително подсигуряване с калций и буферни вещества, като това увеличава риска от субклинична хипокалциемия и подчертава необходимостта от внимателен хранителен и профилактичен контрол.

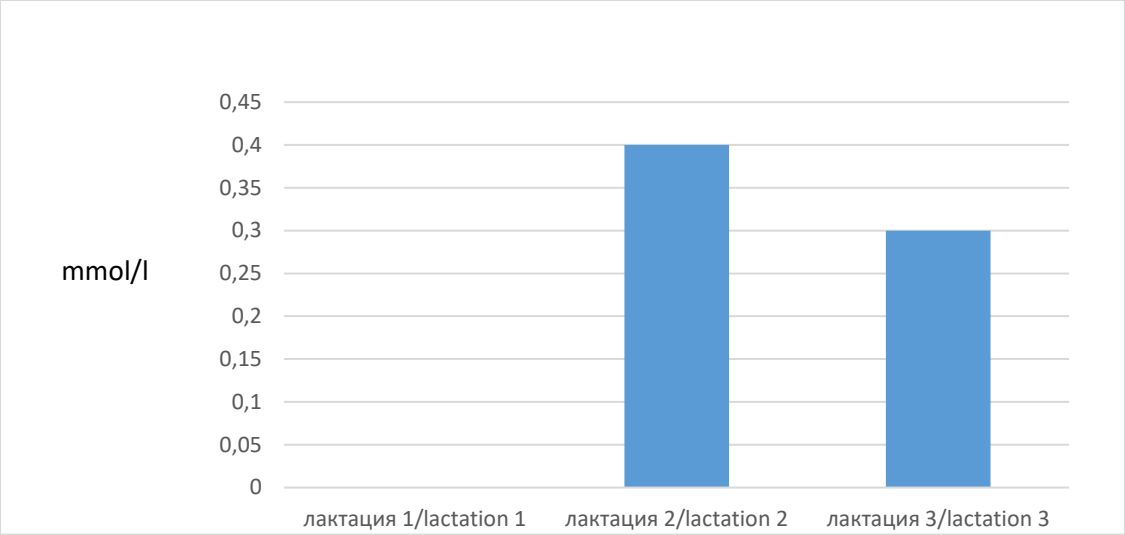


Фигура 4**.** Средни стойности на йонизиран калций при крави от Ферма 3 по лактации

Figure 4. Mean values of ionized calcium in cows from Farm 3 by lactations

Средните стойности на йонизирания калций (iCa, mmol/L) при крави от ферма 3 показват отчетлива вариабилност между лактациите. Най-високи концентрации се наблюдават при първа (~4.25 mmol/L) и четвърта (~4.1 mmol/L) лактация, докато при втора (~3.75 mmol/L) и трета (~3.8 mmol/L) лактация стойностите са по-ниски, като разликата между екстремните групи достига ~0.5 mmol/L и може да бъде биологично значима. Подобни непоследователни вариации са докладвани от Walter et al. (2022), докато Szenci et al. (1994) и Venjakob et al. (2018) съобщават за по-стабилни или нарастващи стойности при многократно отелени животни. Високите стойности при първа лактация вероятно отразяват по-ниска физиологична натовареност и ефективна регулация на калциевия баланс, спадът при втора и трета лактация – повишени метаболитни изисквания, а частичното възстановяване при четвърта лактация показва нормални стойности на Ca^{2+}, отразяващи ефективна калциева хомеостаза чрез адекватна регулация на паратиреоидния хормон и витамин D. Това минимизира риска от субклинична хипокалцемия и свързаните с нея репродуктивни нарушения.

Средните стойности на йонизирания калций (iCa, mmol/L) при крави от ферма 4 показват най-високи концентрации във втора лактация (~0.38–0.40 mmol/L) и спад при трета (~0.27–0.28 mmol/L). В тази ферма не са включени животни от първа лактация, поради което за тази група няма данни. Получените резултати съответстват на данни от Goff (2008) и Reinhardt et al. (2011), според които първотелките обикновено имат по-нисък риск от клинична



Фигура 5**.** Средни стойности на йонизиран калций при крави от Ферма 4 по лактации
Figure 5. Mean values of ionized calcium in cows from Farm 4 by lactations

хипокалцемия, а DeGaris и Lean (2009) показват повишен риск от калциев дефицит при високолактиращи крави. Martinez et al. (2012) подчертават, че йонизираният калций е по-надежден показател за метаболитния статус от общия калций. При направеното проучване кравите във втора лактация поддържат по-добър калциев баланс, докато при кравите с по-голям паритет индикира изразена субклинична хипокалцемия и висок риск от метаболитни и репродуктивни усложнения, като стойности под 0.5 mmol/L са свързани с повишена честота на метрит, мастит и забавено възстановяване на овулационния цикъл.

Литературно приетият физиологичен диапазон на йонизирания калций при млечни крави е **1.0–1.3 mmol/L**, като стойности под 1.0 mmol/L сигнализират субклинична хипокалцемия (Goff, 2018; Oetzel, 2019; Reinhardt et al., 2011). Стойности под 0.8 mmol/L увеличават риска от метаболитни и репродуктивни усложнения, а под 0.5 mmol/L се асоциират с изразени дефицити (Baird et al., 2015). Разпределението на Ca^{2+} по лактации показва, че ниските стойности се наблюдават независимо от стадия на лактация, подчертавайки, че субклиничната хипокалцемия може да бъде идентифицирана единствено чрез измерване на йонизирания калций. Тези данни потвърждават, че Ca^{2+} може да бъде надежден инструмент за ранна диагностика на метаболитен дефицит преди клинични прояви.

Заключение

Наблюдаваните различия в йонизирания калций (iCa) между фермите показват зависимост от поредната лактация и условията на отглеждане. Високите стойности при по-ниска поредна лактация и спадът при кравите с по-голям брой отелвания отразяват метаболитното натоварване и адаптивните механизми на калциевия метаболизъм. Разликите между фермите могат да се обяснят с хранителен режим, минерални добавки, продуктивност, мениджмънт и стресови фактори. Статистическите данни показват, че във ферма 1, 2 и 4 концентрациите на iCa са под физиологичния диапазон, сигнализирайки метаболитен дефицит преди появата на клинични симптоми, докато във ферма 3 нивата на йонизиран

калций отразяват ефективна калциева хомеостаза. Настоящото изследване потвърждава, че йонизираният калций е чувствителен и надежден биомаркер за ранно идентифициране на субклинична хипокалцемия. Резултатите подчертават необходимостта от редовен мониторинг и целенасочени хранителни стратегии за поддържане на калциевата хомеостаза и допринасят за разширяване на научното разбиране на калциевия баланс в ранния лактационен период, подкрепяйки внедряването на превантивни мерки в управлението на млечни стада.

Благодарности

Това изследване е финансирано от Министерството на образованието и науката на България (МОН) в рамките на Националния план за възстановяване и устойчивост на България, компонент „Иновативна България", проект № BG-RRP-2.004-0006-C02 „Развитие на научните изследвания и иновации в Тракийски университет в услуга на здравето и устойчивото благосъстояние".

Assessment of Subclinical Hypocalcemia in Cows on Dairy Farms

Elena Stancheva*, Toncho Penev, Gergana Iotova, Dimo Dimov

Abstract

The present study aimed to evaluate the concentration of ionized calcium (Ca^{2+}) in dairy cows during the early postpartum period and to investigate its relationship with subclinical hypocalcemia as an early indicator of metabolic disorders. The study included four farms with cows from first to fourth lactation, showing no visible signs of disease. Ca^{2+} concentration was determined from blood samples collected from the tail vein at three time points – immediately after calving, at 12 hours, and at 24 hours – using a portable ionometer LAQUAtwin Ca-11C. The data were statistically processed using mean, minimum, maximum, and standard deviation. On Farms 1, 2, and 4, Ca^{2+} concentrations were below the physiological range, whereas on Farm 3 they reflected a normal calcium balance. This demonstrates that decreased ionized calcium can be detected before the appearance of clinical symptoms and confirms that Ca^{2+} is a sensitive and reliable biomarker for the early diagnosis of subclinical hypocalcemia, with timely measurement enabling preventive interventions and optimization of health, productivity, and reproductive performance in dairy cows.

Keywords: ionized calcium, subclinical hypocalcemia, dairy cows, postpartum period, biomarker

Литература

Baird, G. J., G.W. Smith, S. McDougall (2015): Effects of hypocalcemia on health and reproduction in dairy cows. Veterinary Journal, 205, 85–91.

Chapinal, N., M. Carson, S. Schwager, M. Capel, J. Sanchez, P. Pinedo (2012): Association between subclinical hypocalcemia and health events in dairy cows. Journal of Dairy Science, 95, 3011–3020.

DeGaris, P. J., I. J. Lean (2008): Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. Veterinary Journal, 176, 58–69.

DeGaris, P. J., I. J. Lean (2009): Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. Veterinary Journal, 180, 45–52.

Goff, J. P. (2008): Hypocalcemia in dairy cows. Veterinary Journal, 176, 50–57.

Goff, J. P. (2014): Calcium homeostasis and clinical hypocalcemia: Milk fever in dairy cows. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 30, 759–776.

Goff, J. P. (2018): Calcium and magnesium disorders. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 34, 553–574.

Kimura, T., T. Yamazaki, S. Fukuda, (2006): Roles of calcium in animal physiology. Journal of Veterinary Medical Science, 68, 123–130.

Lean, I. J., P.J. DeGaris, D.M. McNeil, E. Block (2006): Hypocalcemia in dairy cows: Risk factors and strategies for prevention. Veterinary Journal, 176, 28–37.

Martinez, N., C.A. Risco, D. Amrine, F. Lopes, L. Caixeta, R. S. Bisinotto (2012): Association of subclinical hypocalcemia with health and production in dairy cows. Journal of Dairy Science, 95, 153–159.

McArt, J. A., R. B. Neves (2020): Epidemiology of subclinical hypocalcemia in dairy cows. Veterinary Clinics of Food Animal Practice, 36, 1–15.

Neves, R. B., J. A. McArt (2018): Subclinical hypocalcemia in dairy cows: Physiology, consequences, and management. Veterinary Clinics of Food Animal Practice, 34, 471–484.

Oetzel, G. R. (2019): Monitoring and prevention of subclinical hypocalcemia in dairy cows. Veterinary Clinics of Food Animal Practice, 35, 277–290.

Reinhardt, T. A., J. D. Lippolis, B. J. McCluskey, J. P. Goff, R. L. Horst (2011): Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. Journal of Dairy Science, 94, 111–117.

Roberts, D., N. Chapinal, D. M. Weary, M. A. von Keyserlingk (2012): Impact of subclinical hypocalcemia on reproduction and production in dairy cows. Journal of Dairy Science, 95, 6925–6936.

Roche, J. R., N. C. Friggens, J. K. Kay, M. W. Fisher, K. J. Stafford, D. P. Berry (2009): Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. Journal of Dairy Science, 92, 5769–5801.

Szenci, O., L. Sugár, K. Nemes, K. Boda, L. Kovács (1994): Blood calcium, phosphorus and magnesium concentrations in dairy cows during the periparturient period. Acta Veterinaria Hungarica, 42, 275–285.

Venjakob, P., V. Krömker, W. Heuwieser (2018): Influence of parity on blood calcium concentration in dairy cows. Journal of Dairy Science, 101, 1234–1242.

Walter, E., U. Meyer, J. Rehage, J. Frahm, M. Bergmann, J. Krieter (2022): Calcium dynamics in dairy cows: Effect of parity and lactation stage. Animals (Basel), 12, 1458.

Wood, P. D. (1967): Lactation curves and milk yield of dairy cattle. Journal of Dairy Research, 34, 123–131.