



DAIRY ZOOM

Chimica, biochimica e fisiologia della produzione del latte

di ALESSANDRO FANTINI

Il bilanciamento acido-base del sangue e il suo controllo

Ci sono alcune importanti patologie della vacca da latte che hanno nella prevenzione e nella terapia la necessità di manipolare il pH ematico. Esempi possono essere la **sindrome dello stress da caldo**, l'**acidosi ruminale**, la **sindrome ipocalcémica** e la **diarrea del vitello**. Anche per chi si occupa di nutrizione, sia essa di base che clinica, la conoscenza di come manipolare sia il pH del sangue e di quello intracellulare è di fondamentale importanza. Sappiamo com'è funzionale tenere sotto controllo il pH ruminale attraverso la conoscenza degli scambi ionici tra cellule dell'epitelio ruminale e contenuto ruminale e poter amplificare l'assorbimento degli acidi grassi volatili prodotti dalle fermentazioni ruminali senza danneggiare questa comunque delicata struttura anatomica.

Quando si manipola l'apporto orale o parenterale di macroelementi, ossia di calcio, fosforo, magnesio, sodio, potassio e cloro, si va inevitabilmente ad alterare un delicato equilibrio che ha come principale finalità quella di mantenere stabile il pH del sangue. Ovviamente a mantenere l'omeostasi dell'equilibrio acido-base del sangue intervengono organi o apparati come i reni, l'apparato gastro-intestinale e i polmoni. Il pH del sangue è l'espressione della concentrazione degli ioni idrogeno in esso presenti che generalmente è nell'ordine delle 40 nmol/L.

Il pH di una soluzione è uguale al logaritmo negativo della concentrazione di ioni idrogeno e viene calcolato appunto come $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Ovviamente, quindi, tra concentrazioni di ioni idrogeno di una soluzione e pH ci sarà una relazione inversa. Il mantenimento di una stabilità del pH - il suo valore normale è di 7.38 (7.31-7.53) - è di fondamentale importanza per mantenere l'integrità della configurazione e dell'attività delle proteine che hanno funzione enzimatica e metabolica come gli

ormoni. La bovina, in caso di gravi disordini alimentari o malattie, tende a mantenere stabile il pH del sangue o, meglio, lo vorrebbe.

I meccanismi che rendono possibile tutto ciò sono la presenza di tamponi sia intra che extracellulari, la ventilazione polmonare che regola la concentrazione di anidride carbonica e l'escrezione renale di tamponi e ioni idrogeno. Di grande importanza sono le molecole tampone, come il bicarbonato e i fosfati, presenti dentro e fuori le cellule e nelle ossa e la presenza intracellulare di proteine, fosfati organici e inorganici, e l'emoglobina dei globuli rossi. Importante è anche lo scambio tra ioni sodio e potassio con gli ioni idrogeno che si accumulano nelle cellule in seguito al loro metabolismo.

Il carbonato presente nelle ossa contribuisce per il 40% a tamponare un carico di acidi. Durante il metabolismo viene prodotta molta anidride carbonica (CO_2). Nel sangue si combina con l'acqua e si trasforma in acido carbonico. L'innalzamento del pH è molto limitato perché l'eccesso di ioni idrogeno si combina nei globuli rossi con tamponi cellulari come l'emoglobina. Il bicarbonato che si genera esce dalle cellule perché scambiato con ioni cloro. L'anidride carbonica viene eliminata durante la respirazione dagli alveoli polmonari. A condizionare il pH plasmatico è la concentrazione di bicarbonato e acido carbonico. Si deve creare nel sangue un equilibrio tra la pressione parziale di CO_2 negli alveoli polmonari e nel sangue e la presenza di acido carbonico in questo fluido

extracellulare. Le principali alterazione del pH ematico possono essere riassunte nella tabella.

Le principali alterazioni del pH ematico sono causate da precise dismetabolie, comunque mediate da variazioni nella concentrazione di bicarbonato ematico. La risposta compensatoria, a sua volta, è mediata dal sistema respiratorio con un'alterazione della pressione parziale della CO_2 (pCO_2) come espressione della concentrazione di acido carbonico del sangue. Un incremento della pCO_2 si ha nell'acidosi respiratoria, mentre una sua diminuzione si osserva nell'alcalosi respiratoria. La compensazione di queste due variazioni patologiche del pH ematico avviene a livello del rene attraverso la secrezione o ritenzione degli ioni idrogeni e del bicarbonato, unitamente a una variazione della frequenza respiratoria.

L'acidosi metabolica, da non confondersi ovviamente con l'acidosi ruminale, è caratterizzata da una riduzione del pH e del bicarbonato. L'aumento degli scambi cellulari di ioni idrogeno e ioni potassio può causare iperkaliemia. A causare uno stato di acidosi metabolica può essere l'acidosi lattica, la chetoacidosi e le perdite intestinali di bicarbonato conseguenti alle diarreë o alle patologie renali. Alcune molecole come i salicilati, il metanolo, il glicole etilenico e la paraldeide possono causare questa dismetabolia.

Per la sua compensazione e il ripristino dell'omeostasi la bovina può presentare iperventilazione. La riduzione della pCO_2 migliora il pH ematico in pochi minuti.

Tabella 1.

	pH	H ⁺	Sbilanciamento primario	Risposta compensativa
Acidosi metabolica	↓	↑	↓ [HCO ₃ ⁻]	↓ pCO ₂
Alcalosi metabolica	↑	↓	↑ [HCO ₃ ⁻]	↑ pCO ₂
Acidosi respiratoria	↓	↑	↑ pCO ₂	↑ [HCO ₃ ⁻]
Alcalosi respiratoria	↑	↓	↓ pCO ₂	↓ [HCO ₃ ⁻]

Per un definitivo ripristino della normalità deve aumentare la ritenzione renale di bicarbonato e aumentare l'escrezione di acidi come lo ione ammonio. L'acidosi respiratoria è caratterizzata da un calo del pH ematico ed un aumento della $p\text{CO}_2$. A causarla sono tutte quelle condizioni che riducono la ventilazione polmonare come le polmoniti e comunque tutte le patologie a carico dell'apparato respiratorio. La risposta compensativa è la riduzione dell'escrezione renale di bicarbonati la quale richiede diversi giorni per un recupero della normalità.

Nell'alcalosi metabolica si ha invece un aumento del pH e dei bicarbonati ematici ed una condizione spesso associata con i disturbi digestivi tipici dei ruminanti. L'alcalosi metabolica è dovuta ad una perdita di ioni idrogeno ed eccessiva ritenzione di bicarbonato. A scatenare questa dismetabolia sono il sequestro di fluidi ricchi di cloro nell'abomaso e nei prestomaci. Altra causa può essere un'eccessiva perdita renale di ioni idrogeno per eccessi di mineralcorticoidi o per un uso eccessivo di diuretici come la furosemide.

Carenze di cloro nella razione dei ruminanti posso predisporre all'alcalosi metabolica. L'eccessiva somministrazione di bicarbonato può causare alcalosi metabolica anche se l'eccesso di questo sale viene eliminato con le urine. L'alcalosi respiratoria è invece associata a condizioni patologiche che causano iperventilazione, come le malattie polmonari o le anemie.

Esistono condizioni patologiche che affliggono la bovina che possono essere controllate attraverso la possibilità di manipolazione del bilanciamento acido-base del sangue. Lo stress da caldo è una patologia che colpisce le bovine quando una combinazione tra temperatura esterna ed umidità relativa la costringono ad adattare il suo metabolismo per mantenere costante la sua temperatura interna. Per fare questo la vacca aumenta la frequenza respiratoria per utilizzare l'apparato polmonare come "radiatore" per la dispersione del calore interno. Questa iperventilazione può, se non adeguatamente compensata, causare un'acidosi

metabolica. L'aumento della frequenza respiratoria aumenta la quantità di CO_2 eliminata e ciò causa una diminuzione dell'acido carbonico ematico con una conseguente alcalosi ematica e urinaria. Quest'ultima condizione provoca un'aumentata escrezione urinaria di acido carbonico e la conseguente acidosi metabolica. Tra le misure di gestione dello stress da caldo ci sono quelle nutrizionali basate sulla variazione degli apporti di alcuni macroelementi come l'aumento della concentrazione di potassio, magnesio e sodio e la riduzione del cloro ossia del minerale classificato come anione perché a carica negativa.

Di maggiore attenzione è la gestione del sindrome ipocalcémica attraverso la manipolazione del pH ematico attraverso il bilanciamento dei cationi, ossia i macroelementi con carica positiva e gli anioni.

Bovine nutrite con alimenti in asciutta che apportano grandi quantità di cationi come il potassio ed il sodio hanno un rischio significativamente più alto di ipocalcémie post-partum.

La ragione di questo è che un'eccessiva ingestione di questi cationi, rispetto ad anioni come il cloro e lo zolfo, tende ad alcalinizzare il sangue costringendo il paratormone a ridurre la concentrazione di calcio nel sangue. Nel periparto, sia per la produzione del colostro che per il latte, vengono eliminate con questi grandi quantità di calcio. Basti pensare che con il latte viene eliminata una quantità di calcio all'incirca di 20-25 grammi al giorno.

Se durante l'asciutta le bovine ingeriscono quantità eccessive di cationi la secrezione di paratormone è molto bassa. Quando, dopo il parto, viene eliminato con il latte una grande quantità di calcio, la bovina non riesce a compensare ciò con un altrettanto rapido riassorbimento di calcio dalle urine, dall'intestino e dalle ossa. Quando la concentrazione di calcio nel sangue scende sensibilmente al di sotto degli 8 mg/dl la bovina presenta un cattivo funzionamento della muscolatura sia liscia che striata fino ad arrivare al decubito.

Tra le misure adottabili per evitare la sindrome ipocalcémica, oltre a ridurre al minimo possibile l'apporto di sodio e potassio

nelle ultime settimane di gestazione, cosa non sempre possibile, si usa aumentare la concentrazione di cloro e zolfo nelle diete di questo periodo. Per semplificare la gestione dell'equilibrio acido base del sangue, sia nella gestione dello stress da caldo che la sindrome ipocalcémica ma anche la nutrizione dell'intera lattazione, è consigliabile utilizzare un'equazione chiamata DCAD come acronimo della traduzione inglese di "differenza di cationi e anioni della dieta". L'equazione più utilizzata è la seguente:

$$\text{DCAD (mEq/100 gr)} = [(\% \text{ sodio}/0.023) + (\% \text{ potassio}/0.039)] - [(\% \text{ cloro}/0.035 + (\% \text{ zolfo}/0.016))]$$

utilizzabile per tutti gli scopi prima elencati, ma con differenti obiettivi. Per acidificare il sangue delle bovine nelle ultime settimane di gestazione, per stimolare la produzione di paratormone e mantenere elevata la calcemia, si consiglia di formulare razioni che riducano l'apporto di sodio e potassio a favore di cloro e zolfo. Per ottenere questo obiettivo senza arrivare a pericolosi eccessi d'anioni si consigliano razioni dai - 5 ai -10 mEq/100 gr. Per gestire al meglio l'apporto di tamponi in lattazione senza compromettere l'appetibilità della razione è bene mantenersi nell'ambito di un range compreso tra + 25 e +40 mEq/100 gr. Nella gestione dello stress da caldo il DCAD consigliabile è compreso tra +25 e + 30 mEq/100 gr.

Conclusioni

La manipolazione dell'equilibrio acido-base del sangue attraverso gli apporti variabili di cationi e di anioni è uno strumento di prevenzione ma soprattutto di terapia di alcune importanti dismetabolie della vacca da latte. Il rischio comunque di indurre o alcalosi o acidosi metaboliche rimane piuttosto elevato. Prima d'intraprendere questo indirizzo terapeutico e profilattico è assolutamente necessario conoscere la composizione di macrominerale degli alimenti utilizzati utilizzando delle metodiche analitiche estremamente affidabili in quanto su tali referti si prende la decisione di manipolare l'equilibrio acido-base del sangue. ■