

METABOLISMO DO CÁLCIO E DO FÓSFORO

Resumo integrado de fisiologia endócrina e aplicações em medicina veterinária

Síntese dos conteúdos discutidos: regulação hormonal, órgãos-alvo, transporte, doenças e hipocalcemia em vacas leiteiras.

1. Conceitos fundamentais

A homeostase do cálcio depende principalmente de paratireoides, rins, intestino e tecido ósseo. O cálcio ionizado é a fração biologicamente ativa, essencial à contração muscular, neurotransmissão, coagulação e sinalização intracelular. O fósforo participa da mineralização óssea, do ATP, dos ácidos nucleicos e dos fosfolipídios.

Distinguir local de produção hormonal de estímulo de secreção: a calcitonina é produzida na tireoide (células C), mas sua secreção é estimulada principalmente pelo aumento do cálcio ionizado.

2. Hormônios calciotrópicos

Hormônio	Origem	Estímulo predominante	Ação fisiológica
PTH	Paratireoides	Queda do Ca^{2+} ionizado	Aumenta conservação renal de Ca; estimula mobilização óssea e síntese renal de calcitriol; promove fosfatúria.
Calcitriol ($1,25[\text{OH}]_2\text{D}$)	Ativação final no rim	PTH e baixa disponibilidade de fósforo	Aumenta absorção intestinal de cálcio e fósforo.
Calcitonina	Células C da tireoide	Elevação do Ca^{2+}	Inibe atividade osteoclástica; papel modesto na homeostase diária de adultos.
FGF23	Osteócitos/osteoblastos	Maior carga de fósforo e calcitriol	Aumenta fosfatúria e reduz produção de calcitriol.

3. Esquema da resposta à hipocalcemia

↓ Cálcio ionizado → receptor sensor de cálcio (CaSR) nas paratireoides → ↑ PTH → (a) ↑ reabsorção renal de Ca; (b) ↑ 1α -hidroxilase renal → ↑ calcitriol → ↑ absorção intestinal de Ca; (c) ↑ mobilização óssea de minerais → recuperação da calcemia.

O PTH NÃO aumenta diretamente a absorção intestinal de cálcio: o efeito intestinal é predominantemente indireto, mediado pelo calcitriol. Nos rins, o PTH aumenta a excreção de fosfato.

4. FGF23: resumo

O fator de crescimento de fibroblastos 23 (FGF23) é produzido principalmente por osteócitos. Atua no rim, em associação ao correceptor α -Klotho, reduzindo a reabsorção tubular de fosfato e a síntese de calcitriol. Assim, reduz indiretamente a absorção intestinal de cálcio e fósforo. Na doença renal crônica, sua elevação é uma resposta precoce à retenção de fósforo, podendo contribuir para distúrbios mineral-ósseos.

5. Transporte de cálcio e fósforo: bombas e transportadores

Não existe uma única “bomba de cálcio e fósforo”. As Ca^{2+} -ATPases (PMCA na membrana plasmática e SERCA no retículo endoplasmático/sarcoplasmático) consomem ATP para manter o Ca^{2+} citosólico baixo ou armazená-lo. Trocadores $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ também contribuem para a extrusão de cálcio. O fosfato utiliza cotransportadores específicos, inclusive NaPi nos rins e no intestino; seu transporte não é realizado pela Ca^{2+} -ATPase.

Ossos: a hidroxiapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ possui razão molar Ca:P de 10:6 (1,67:1), e relação aproximada em MASSA de Ca:P de 2,15:1. A relação dietética ideal varia com espécie, idade e estado fisiológico; não existe relação sanguínea fixa de 2:1.

6. Alterações glandulares e orgânicas

Disfunção	Mecanismo	Consequência
Hipoparatiroidismo	PTH insuficiente	Hipocalcemia, hiperfosfatemia, tetania e convulsões.
Hiperparatiroidismo primário	Secreção excessiva de PTH	Hipercalcemia e maior reabsorção óssea.
Doença renal crônica	Menor calcitriol, retenção de fósforo, ↑ FGF23 e PTH	Distúrbio mineral-ósseo e hiperparatiroidismo secundário.
Doença hepática grave	Comprometimento potencial da 25-hidroxiilação da vitamina D	Possível alteração do metabolismo mineral.
Alteração das células C tireoidianas	Menor calcitonina	Em geral, impacto discreto na calcemia de adultos.
Deficiência de vitamina D/Ca/P	Mineralização inadequada	Raquitismo ou osteomalácia, conforme idade e contexto.

Hipotireoidismo (deficiência de T3/T4) não é sinônimo de deficiência de calcitonina, pois são produzidos por populações celulares diferentes.

7. Aplicação em vacas leiteiras: periparto

A produção de colostro e leite eleva rapidamente a demanda de cálcio no início da lactação. A hipocalcemia puerperal costuma refletir adaptação insuficiente entre demanda mamária, mobilização óssea, conservação renal e absorção intestinal, não necessariamente falta de secreção de PTH.

Alcalose metabólica associada a dietas pré-parto com DCAD elevado pode reduzir a responsividade tecidual ao PTH. A deficiência de magnésio também compromete secreção e ação do PTH. Estratégias

nutricionais devem considerar DCAD, magnésio e fornecimento mineral conforme a dieta e o risco do rebanho.

A proteína relacionada ao PTH (PTHrP), produzida também pela glândula mamária, participa da adaptação do metabolismo ósseo à lactação. A serotonina mamária é investigada como moduladora desse eixo; não substitui PTH e calcitriol como principais reguladores sistêmicos.

8. Síntese para revisão

PTH: sobe Ca e favorece excreção de P. | Calcitriol: aumenta absorção intestinal de Ca e P. | Calcitonina: limita reabsorção óssea, com papel menor em adultos. | FGF23: aumenta excreção de P e reduz calcitriol. | Rins: fundamentais na ativação da vitamina D e no ajuste da excreção mineral.

9. Referências para aprofundamento

- Goff, J. P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 2018.
- Constable, P. D. et al. *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats*. 11ª ed. Elsevier, 2017.
- Sjaastad, Ø. V.; Sand, O.; Hove, K. *Physiology of Domestic Animals*. 3ª ed. Scandinavian Veterinary Press, 2016.
- Blaine, J.; Chonchol, M.; Levi, M. Renal control of calcium, phosphate, and magnesium homeostasis. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 2015.
- Razzaque, M. S. The FGF23–Klotho axis: endocrine regulation of phosphate homeostasis. *Nature Reviews Endocrinology*, 2009.

Material educativo distribuído gratuitamente em ajuda-vet.com/materiais/metabolismo-calcio-fosforo. Não substitui a avaliação de um médico-veterinário nem a bibliografia de referência.



AjudaVet

Veterinária descomplicada: do livro para a prática

Acesse este material no AjudaVet

Versão atualizada, artigos relacionados, quizzes e flashcards sobre este tema — direto na página do material.

ajuda-vet.com/materiais/metabolismo-calcio-fosforo



Aponte a câmera do celular para abrir este material

Baixe outros materiais em ajuda-vet.com/materiais