

Znaczenie cynku u ogierów reproduktorów

JANUSZ DANEK

Zakład Chorób Koni Państwowego Instytutu Weterynaryjnego w Puławach, Oddział w Bydgoszczy,
Al. Powstańców Wlkp. 10, 85-090 Bydgoszcz

Danek J.

Role of zinc in stallions

Summary

In view of the general knowledge about zinc and its requirement, absorption and distribution in tissues and organs, as well as metabolic and pathophysiological importance of zinc for horses, some issues have been presented concerning stallions. Changes in zinc content in bodies have been discussed depending on demand, season and breed, as well as the correlation between zinc and the quality of stallions' semen. It has been demonstrated that a zinc deficient diet has a negative influence on the level of zinc in a stallion's body and causes many changes in it. On the other hand, an excess of calcium in feed is a factor impairing absorption of zinc and its utilisation, causing secondary deficiency in Zn and/or increases of the primary form of this state, thus having a negative influence on the quality of stallions' semen. The addition of zinc to Zn deficient feed changes the zinc status in the body and positively influences the quality of semen. A similar effect can be achieved by supplementing food doses with zinc compounds in the case of an unfavourable Zn:Ca proportion in the diet. Zinc plays an important role in infections and endotoxemia. Indications of clinical, hematological and semiologic changes in endotoxemia, as well as changes in zinc concentration in stallions' semen after bacterial endotoxin administration have also been discussed.

Keywords: stallion, zinc -status, - semen quality, -deficient, -supplement, -endotoxemia

Wiadomości ogólne oraz znaczenie cynku u koni

Podstawowym źródłem cynku dla koni jest ich pożywienie. Wszelkie więc zaburzenia w podaży i wchłanianiu tego pierwiastka z przewodu pokarmowego odbijają się na jego puli zapasowej w organizmie i jeżeli jest ona niewielka dochodzi do stanu patologicznego określanego mianem choroby niedoborowej. Cynk, obecny w wielu metaloenzymach i kompleksach hormonalnych, wykazuje wielokierunkową aktywność biologiczną. W związku z udziałem cynku w różnych procesach biochemicznych istnieją trudności z ustaleniem zapotrzebowania zwierząt i tolerancji na ten pierwiastek. Minimalne potrzeby koni na cynk zbliżone są do zapotrzebowania na ten mikroelement u innych gatunków zwierząt i wynoszą 30-50 mg w kg s.m. paszy (40). Według norm NRC (3) pożądaną koncentracją cynku w dawce pokarmowej dla koni jest 40 mg/kg s.m. paszy. Wielkości te mogą być niewystarczające przy istnieniu czynników utrudniających wchłanianie i dystrybucję cynku, stąd zaleca się 100 mg Zn w kg s.m. paszy (39).

Proces wchłaniania cynku odbywa się w jelicie cienkim i zwykle dotyczy 5-40% podaży. Transfer cynku z jelitowych komórek śluzowych do krwi jest regulowany przez metalotioneinę (8). Ściana jelita cienkiego i okrężnicy małej konia zawierają najwyższy procent ⁶⁵Zn w 7 i 14 dniu po podaniu izotopu. Retencja i ekstrakcja ⁶⁵Zn są zależne od podaży cynku z diety, a takie organy jak wątroba, trzustka, nerki, serce i płuca zawierają więcej ⁶⁵Zn niż kości i mięśnie (43).

Istnieje szereg czynników, które mogą modyfikować wchłanianie cynku. Jednym z nich, mającym nie-

korzystny wpływ na absorpcję cynku u koni jest fityna zboża. Kwas fitynowy będąc bowiem w znacznej ilości w diecie roślinnej chelatuje cynk utrudniając jego przyswajalność (31). Niewłaściwe proporcje w diecie koni pomiędzy cynkiem i innymi metalami mogą prowadzić do stanów wtórnych niedoborów. Podkreśla się, że przyczyną niedoboru cynku u koni może być także nadmiar wapnia w diecie (39). Antagonistami cynku, oprócz wapnia, są także magnez, fosfor, miedź, kadm i nikiel (2).

Cynk w organizmie znajduje się w postaci organicznej i nieorganicznej. Normalna zawartość cynku w organizmie dorosłego konia przedstawia się następująco (mg/kg s.m.): zebra 78, wątroba 289, nerki 248, kresomózgowie 56, surowica 1,4, a jego status dobrze odzwierciedlają kości, sierść i ewentualnie surowica krwi (30, 31). Zawartość cynku w skórze wynosi 11,3 mg/kg (27,9 mg/kg s.m.), natomiast 10,3 mg/kg tego pierwiastka znajduje się w pocie koni (45).

Stężenie cynku w surowicy krwi koni może wahać się w szerokich granicach. W surowicy kłaczy (czystej krwi arabskiej, pełnej krwi angielskiej, anglo-arabskiej, wielkopolskiej) z szeregu krajowych stadnin w sezonie pastwiskowym stwierdzono 53,0-106,0 µg/dl (8,1-16,2 µmol/l) cynku (28). W innych badaniach (46) stwierdzono w grupie koni stajennych średnio 170 µg/dl (26 µmol/l) cynku, a u przebywających na pastwisku 111 µg/dl (16,9 µmol/l). Na różnice pomiędzy wymienionymi grupami koni zwracają również uwagę inni badacze (36), podając 64,1 µg % (9,8 µmol/l) cynku w surowicy koni stajennych i 54,9 µg % (8,4 µmol/l) u tych na pastwisku. U klinicznie zdrowych koników

polskich stwierdzono średnio 9,7 $\mu\text{mol/l}$ cynku oraz nie wykazano różnic pomiędzy klaczami i ogierami/wałachami w stężeniu tego pierwiastka w surowicy krwi. Nie stwierdzono także różnic w stężeniu cynku w surowicy krwi koni w zależności od pór roku (32, 33, 34). Wyniki te różnią się od rezultatów uzyskanych u kuców szetlandzkich, u których podczas 3-letnich badań odnotowano wyraźny wzrost cynku w plazmie krwi klaczy w miesiącach zimowych (27). W badaniach tych ustalono także, że stężenie cynku w plazmie krwi tej rasy koni wynosi średnio 1,07 $\mu\text{g/ml}$ (16,3 $\mu\text{mol/l}$). Miesięczne zmiany w koncentracji cynku w surowicy krwi stwierdzono również u źrebnych klaczy (5). Nie wykazano jednak różnic w stężeniu tego pierwiastka w zależności od wieku koni (6, 30). Według niektórych danych (38) normalne stężenie cynku w surowicy krwi koni dojrzałych wynosi 12,2-18,7 $\mu\text{mol/l}$ (80-122 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$).

Dobrym odzwierciedleniem zawartości cynku w ustroju może być analiza jego zawartości we włosach. Zawartość cynku w sierści dorosłych koni wynosi średnio 143 ppm we włosach tułowia i 144 ppm w grzywie oraz jego ilość zależy od barwy włosa (30). U źrebiąt pełnej krwi angielskiej w wieku 6 i 12 miesięcy stwierdzono w sierści odpowiednio: 197,2 i 139,9 ppm cynku (47), a u kuców karmionych 50 mgZn/kg s.m. 210 ppm cynku we włosach (45). W sierści koni z krajowych regionów typowo rolniczych i przemysłowych wykazano średnio 316 ppm cynku, wykazując jednocześnie wyższą zawartość Zn u koni z rejonu katowicko-bielskiego, w porównaniu z regionami rolniczymi (52).

Zbadano także zawartość tego pierwiastka w rogu kopytowym (41), wykazując brak istotnych różnic rasowych w ogólnej zawartości cynku w całej puszcze. Wyraźne różnice występują tylko w ścianie przedniej puszczy kopytowej między ogierami śląskimi (177 ppm) a zimnokrwistymi (117 ppm) i małopolskimi (123 ppm).

Stężenie cynku w mleku klaczy zmienia się wraz z okresem karmienia. Stężenie cynku w mleku klaczy pełnej krwi angielskiej w 1, 4, 8 i 16 tygodniu laktacji wynosi odpowiednio: 2,2 $\mu\text{g/g}$, 0,29 $\mu\text{g/g}$, 1,9 $\mu\text{g/g}$ i 1,8 $\mu\text{g/g}$ (44) oraz 0,09 $\mu\text{mol/l}$, 0,074 $\mu\text{mol/l}$ i 0,069 $\mu\text{mol/l}$, odpowiednio: w 30, 90 i 180 dniu po oźrebieciu (47). W siarze stwierdzono 5,5 mg/l cynku natomiast w mleku między 55 i 150 dniem po urodzeniu – średnio 2,1 mg/l (26).

Zawartość cynku w nasieniu koni mieści się w szerokich granicach. W osoczu nasienia ogierów badanych poza sezonem rozrodczym stwierdzono 0,17 \pm 0,11 mg/dl (26,0 \pm 16,8 $\mu\text{mol/l}$) cynku (42).

Stany pierwotnego niedoboru cynku u koni są rzadko diagnozowane. Niemniej jednak z nielicznych doniesień wynika, że u koni w deficycie cynku zauważa się podobne objawy jakie występują u innych gatunków zwierząt. U źrebiąt żywionych paszą bardzo ubogą w cynk (4 mg/kg s.m. paszy) zaobserwowano uszkodzenia skóry i naskórka oraz źle gojące się rany. Deficyt cynku powodował także zahamowanie wzrostu,

spadek aktywności enzymu fosfatazy zasadowej i zmniejszenie się ilości tkankowego Zn. Stan ten nie wpływa na koncentrację Ca i P w kościach źrebiąt (29).

W przypadku niedoboru cynku u dorosłych koni częściej można mieć do czynienia z odchyleniami funkcji biologicznych ustroju objawiającymi się np. zaburzeniami w rozrodczości u obojga płci. Podkreśla się, że w niedoborze cynku u ogierów może dojść do obniżenia libido oraz spadku jakości nasienia, a u klaczy do zaburzeń cyklu płciowego i samej owulacji (1).

Wzbogacenie diety w cynk wydaje się celowe wówczas, gdy dawka pokarmowa nie pokrywa zapotrzebowania na ten pierwiastek oraz w chorobach lub stanach, w których może wystąpić jego niedobór. Z uwagi na wysokie stężenie cynku w pocie, konie produkujące nadmierne ilości potu powinny być karmione paszą wzbogaconą w cynk. Koń (500 kg m.c.) pracujący intensywnie, przy wysokiej temperaturze otoczenia, produkuje około 10-20 litrów/dzień potu, z którym obok żelaza (200-400 mg) traci 100-200 mg cynku (45).

Celem uzupełnienia diety stosuje się różne dodatki cynku w postaci siarczanu cynku ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 22,7\text{ gZn}/100\text{g}$) albo tlenku cynku ($\text{ZnO} = 80,3\text{ gZn}/100\text{g}$) (37). Należy mieć jednak na uwadze to, że nadmiar cynku w paszy może mieć ujemny wpływ na metabolizm innych pierwiastków dwuwartościowych, w tym szczególnie miedzi i żelaza. U źrebiąt żywionych dietą zawierającą 29,1 i 250 mgZn/kg s.m. paszy stężenie cynku i miedzi było normalne przez 14-15 tygodni badań, natomiast wysokie dawki cynku (1000 i 2000 mg/kg s.m.) prowadziły do wzrostu stężenia Zn do $> 2\text{ }\mu\text{g/ml}$ ($> 30,6\text{ }\mu\text{mol/l}$) w ciągu 2 tygodni i spadku Cu we krwi tych zwierząt do $< 0,2\text{ }\mu\text{g/ml}$ ($< 3,1\text{ }\mu\text{mol/l}$) przy końcu badań (7).

Cynk jest pierwiastkiem mało toksycznym dla koni, a granica kiedy nadmiar jego zaczyna szkodzić wynosi 1000 ppm, a zatem w praktyce nie należy obawiać się zatrucia tym mikroelementem (31). U młodych koni w następstwie toksycznego, chronicznego działania cynku zaobserwowano jednak obok hipocupremii, zmiany w szkieletcie, kulawiznę i sztywność chodu, z tendencją do zataczania się (25). Wskazuje się także na związek między cynkiem z osteochondrozą koni – chorobą młodych, rosnących koni i dotyczącą zaburzeń w prawidłowym rozwoju chrząstki i kostnienia śródchrzęstnego (50). U źrebiąt wraz z typowymi objawami osteochondrozy obserwowano względny niedobór miedzi, przy nadmiernej koncentracji cynku w surowicy krwi i sierści tych zwierząt (13). Opisano również przypadki zatrucia koni fosforem cynku (24).

Odrębny rozdział w badaniach nad cynkiem u koni stanowią prace dotyczące związku cynku z infekcją i endotoksemią. Cynk okazał się istotnym elementem tzw. odporności alimentarnej zwierząt, co wykazano między innymi w endotoksemii. Endotoksemia jest stanem patologicznym, do którego dochodzi wówczas, gdy endotoksyna (LPS) bakterii Gram-ujemnych zostaje uwolniona z powierzchni komórek bakteryjnych

i dostanie się do krwi. Podkreśla się, że konie są gatunkiem szczególnie wrażliwym na działanie endotoksyn. W endotoksemii dochodzi do szeregu zmian klinicznych, hematologicznych i biochemicznych wskaźników zdrowia koni, w tym do redystrybucji cynku w ustroju, charakteryzującej się hipocynkemią, hipocynkurią oraz wzrostem ilości cynku w wątrobie (48, 51). U koni wykazano więc spadek stężenia cynku oraz żelaza w surowicy krwi po dożylniej iniekcji pojedynczych i powtórnych dawek LPS *Escherichia coli* (35, 49). Spadek stężenia cynku i żelaza w plazmie krwi koni występuje także po domięśniowym podaniu adiuwantu Freund'a i wywołaniu miejscowego stanu zapalnego (4).

Rola cynku u ogierów reproduktorów

Niewiele jest danych dotyczących roli cynku w funkcjach rozrodczych ogierów, a dotychczasowe badania koncentrowały się nad relacją między cynkiem w diecie, cynkiem w krwi i nasieniu oraz wartością biologiczną nasienia. Wyjątkowe znaczenie posiadają także badania nad wpływem endotoksemii na stężenie cynku w nasieniu ogierów.

Wyniki badań wskazują, że stężenie cynku w organizmie ogierów zależy od jego podaży i zmienia się w czasie sezonu rozrodczego oraz koreluje z niektórymi cechami nasienia (12, 14, 16, 20, 21). W dotychczasowych badaniach przeprowadzonych u ogierów, utrzymywanych w tych samych warunkach środowiskowych, w dwu sezonach kopulacyjnych, stwierdzono wzajemne zależności pomiędzy cynkiem w diecie, surowicy i osoczu nasienia oraz między cynkiem i koncentracją plemników w nasieniu. Wykazano też różnice w stężeniu cynku w osoczu nasienia u koników polskich pochodzących z 4 czołowych ośrodków hodowli tej rasy w Polsce oraz miesięczne zmiany w stężeniu tego pierwiastka w surowicy krwi i osoczu nasienia w cyklu rocznym. W kolejnych badaniach wykazano różnice rasowe w stężeniu cynku w osoczu nasienia oraz brak różnic w koncentracji Zn w surowicy i osoczu nasienia między grupami ogierów: ≤ 11 lat, > 11 lat, ≥ 14 lat (tab. 1, ryc. 1, 2, 3).

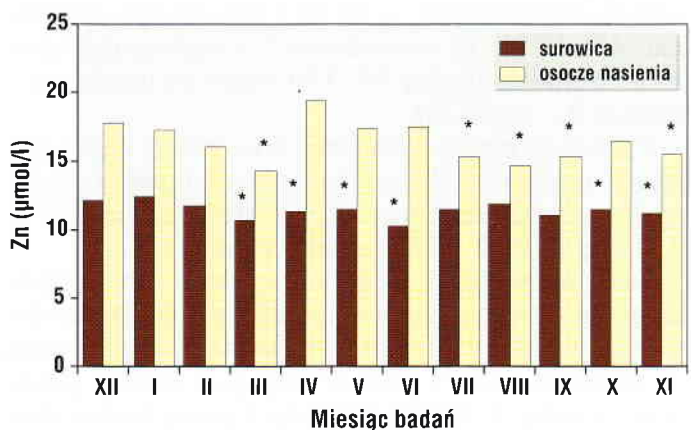
Badania dowiodły także, że dieta zawierająca cynk w ilościach niedoborowych wpływa niekorzystnie na zawartość Zn w organizmie oraz powoduje szereg zmian w krwi i nasieniu ogierów (9, 10). U ogierów żywionych paszą niedoborową w cynk (17,5 mgZn/kg s.m. paszy) stwierdzono spadek stężenia cynku we włosach tułowia i w surowicy krwi, a także spadek liczby krwinek białych we krwi ogólnej, obniżenie aktywności fosfatazy zasadowej oraz wzrost białka całkowitego w surowicy krwi. W pierwotnym niedoborze cynku obserwuje się także spadek stężenia Zn w osoczu nasienia i koncentracji plemników w nasieniu oraz obniżenie stężenia białka całkowitego w osoczu nasienia ogierów (tab. 1, 2).

Dodatek cynku do paszy zmienia zawartość cynku w organizmie oraz wpływa korzystnie na jakość nasienia ogierów (17, 18). Wzbogacenie dawki pokar-

Tab. 1. Zawartość cynku w paszy oraz w sierści, krwi i nasieniu ogierów

Rasa	Wiek (lata)	Użytkowość	Cynk	Pasza mg/kg s.m.	Dane
Włosy tułowia (ppm)					
KP	4-18	Od	63,6*	17,5 (sI)	9
	5-19	Od	107,9*	21,8 (sII)	9
	4-9	Od	114,6-119,7	30	18
	4-8	Od	119,0-121,2	26	18
	5-9	Os	95,6-96,8	22	18
Surowica krwi (µmol/l)					
R	4-19	Os	12,9		21
XX	4-19	Os	13,9		21
WLKP	4-16	Os	12,5		21
KP	4-18	Od	11,4	17,5 (sI)	9
	5-19	Od	14,2	21,8 (sII)	9
	4-17	Os	12,5		21
	4-9	Od	13,1-13,2**	30	17/18
	4-8	Od	12,3-13,8**	26	17/18
	5-9	Os	11,0-11,3**	22	17/18
Osocze nasienia (µmol/l)					
R	4-19	Os	24,3		20
XX	4-19	Os	36,4/36,6		16/20
WLKP	4-16	Os	18,4/18,5		16/20
KP	4-18	Od	17,3	17,5 (sI)	10
	5-19	Od	24,1	21,8 (sII)	10
	4-18	Od	24,7	30	16
	4-19	Os	16,1/17,8		16/20
	4-19	Os	11,8-18,8		12/16
	4-19	Od	23,7-25,7**	30	17
	4-9	Od	18,0-19,3**	26	17
	4-8	Os	19,7-20,8**	22	17
	5-9				

Objaśnienia: R – różne rasy, XX – pełna krew angielska, WLKP – rasa wielkopolska, KP – konik polski, Od – ogier doświadczalny, Os – ogier używany do stanowienia, sI – sezon pierwszy, sII – sezon drugi, przeliczenia własne * – z mmol/l, ** – z mg/l.

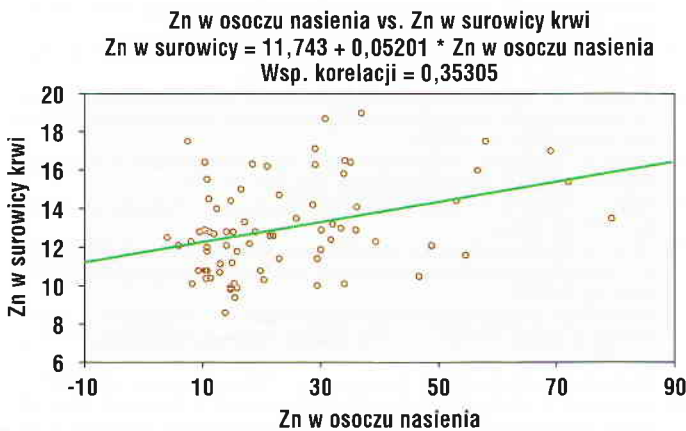


Ryc. 1. Zmiany w stężeniu cynku w surowicy krwi i osoczu nasienia ogierów w cyklu rocznym. Objasnienie: *statystycznie istotne różnice ($p < 0,05$) w odniesieniu do XII.

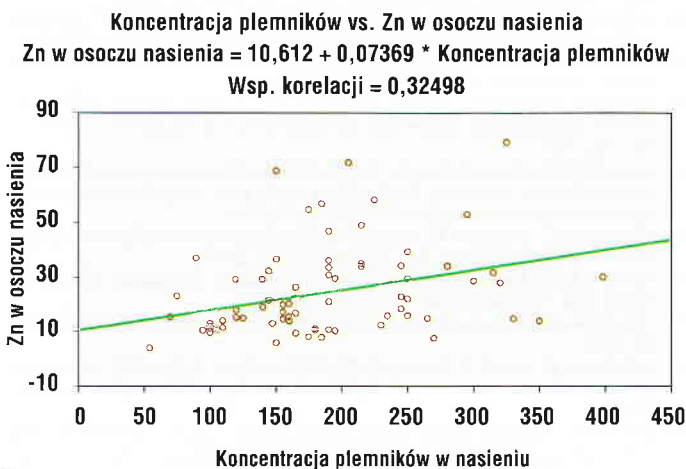
Tab. 2. Zmiany u ogierów żywionych paszą niedoborową w cynk oraz po wzbogaceniu diety ZnSO₄

Badany wskaźnik	Zachowanie	
	niedobór Zn ^a	dodatek ZnSO ₄
Cynk we włosach	↓	↑ ^b
Cynk w surowicy krwi	↓	0 ^{b, c}
Cynk w osoczu nasienia	↓	↑ ^{b, c}
Odczyn nasienia (pH)	0	0 ^{b, c}
Odsetek plemników ruchliwych	0	↑ ^c
Koncentracja plemników	↓	↑ ^{b, c}
Ogólna liczba plemników	0	↑ ^b
Odsetek plemników normalnych	0	0 ^{b, c}
Białko całkowite w osoczu nasienia	↓	↑ ^{b, c}

Objaśnienia: ↑ – wzrost, ↓ – spadek, 0 – brak istotnych zmian, a – 17,5 mg Zn/kg s.m. paszy, b – zwiększenie z 22 mg Zn/kg s.m. do 100 mg/kg s.m. paszy, c – zwiększenie z 30 mg Zn/kg s.m. do 100 mg Zn/kg s.m. paszy.



Ryc. 2. Korelacja między stężeniem cynku w surowicy krwi i osoczu nasienia ogierów

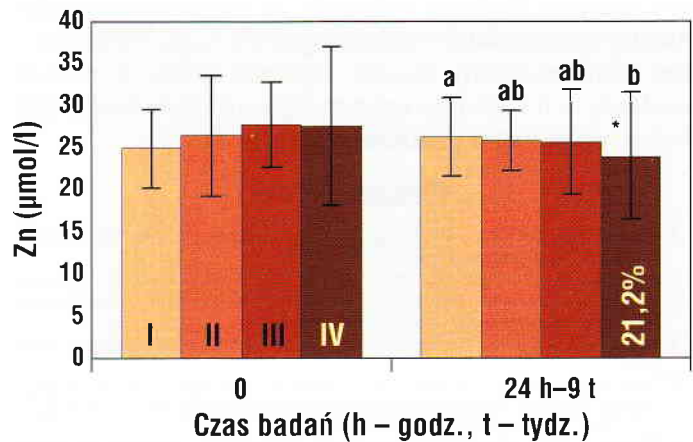


Ryc. 3. Korelacja między zawartością cynku w osoczu nasienia a koncentracją plemników w nasieniu ogierów

Tab. 3. Zmiany u ogierów żywionych nadmiarem wapnia i po wzbogaceniu diety ZnSO₄

Badany wskaźnik	Zachowanie	
	nadmiar Ca ^{a, b}	dodatek ZnSO ₄ ^{a, c}
Cynk we włosach	↓	↑
Cynk w surowicy krwi	↓	↓
Cynk w osoczu nasienia	↓	↑
Odczyn nasienia (pH)	↑	0
Odsetek plemników ruchliwych	0	0
Koncentracja plemników	↓	0
Ogólna liczba plemników	↓	0
Odsetek plemników normalnych	0	0
Białko całkowite w osoczu nasienia	0	↓

Objaśnienia: ↑ – wzrost, ↓ – spadek, 0 – brak istotnych zmian, a – 12,5 g Ca/kg s.m. paszy, b – 24 lub 26 mg Zn/kg s.m. paszy, c – zwiększenie z 26 mg Zn/kg s.m. do 161 mg Zn/kg s.m. paszy.



Ryc. 4. Stężenie cynku w osoczu nasienia ogierów po podaniu LPS *Escherichia coli*. Objasnienie: I – grupa kontrolna, II – 0,5 µg LPS/kg mc, III – 0,1 µg LPS/kg mc, IV – 0,3 µg LPS/kg mc, *różnice statystycznie istotne i Δ (%) odnośnie 0 (średnia z 4 tygodni przed podaniem LPS), a, b – statystycznie istotne różnice między grupami, przy p < 0,05.

mowej w cynk powoduje wzrost stężenia cynku we włosach i/lub osoczu nasienia. Karmiąc ogierzy przez 30 dni paszą zawierającą 100 mgZn/kg s.m. uzyskano też zwiększenie ruchliwości i/lub koncentracji i ogólnej liczby plemników w nasieniu oraz wzrost stężenia białka całkowitego w osoczu nasienia (tab. 2).

Nadmiar wapnia w paszy jest jednym z czynników upośledzających wchłanianie cynku i jego wykorzystanie w organizmie. Wywołuje u ogierów wtórny niedobór Zn i/lub pogłębia pierwotną formę powyższego stanu (11, 15, 17, 18). Żywienie ogierów przez 30 dni nadmiarem wapnia w paszy (12,5 g/kg s.m.) powoduje obniżenie stężenia cynku we włosach tułowia, w surowicy krwi oraz w osoczu nasienia. Wraz ze spadkiem Zn obserwuje się spadek zawartości hemoglobi-

ny oraz wzrost wartości wskaźnika hematokrytowego we krwi ogólnej. Stan ten wpływa niekorzystnie na jakość nasienia ogierów, powodując między innymi obniżenie koncentracji i ogólnej liczby plemników w nasieniu (tab. 3).

Niekorzystny stosunek Zn:Ca w diecie ogierów wymaga uzupełnienia dawki pokarmowej związkami cynku (17, 18, 19). Dodatek cynku (do 161 mg/kg s.m.) do paszy w pewnym stopniu niweluje niekorzystne zmiany wywołane nadmiarem Ca w diecie (12,5 g/kg s.m.), powodując wzrost stężenia cynku we włosach tułowia i osoczu nasienia oraz poprawę jakości nasienia ogierów (tab. 3).

W stanach patologicznych dochodzi do redystrybucji cynku w organizmie ogierów. Podanie endotoksyny bakteryjnej wywołuje u ogierów szereg zmian klinicznych, hematologicznych i biochemicznych oraz seminologicznych (22, 23). Z badań wynika, że najczęściej stwierdzanymi zmianami w endotoksemii u ogierów jest gorączka i towarzysząca jej tachykardia oraz leuko- i neutropenia. U ogierów obserwuje się także liczne zmiany makro- i mikroskopowe oraz biochemiczne w nasieniu, a w tym ostatnim spadek stężenia cynku w osoczu nasienia. Badania wykazały, że u ogierów po podaniu najwyższej dawki endotoksyny (0,3 µg LPS/kg m.c.) ma miejsce istotny spadek stężenia cynku w osoczu nasienia w 6 tygodniu oraz w całym okresie badań (24 h-9 t), po podaniu endotoksyny (ryc. 4).

Piśmiennictwo

- Anke M.: Die Bedeutung der Mengen- und Spurenelemente in der Fütterung von Zucht- und Sportpferden. Tierzucht 1977, 7, 310-312.
- Anke M., Gleit M., Kramer K., Müller M.: Die Bedeutung der Mengen- und Spurenelemente in der Nahrungskette von Tier und Mensch. Mat. Konf. „Związki mineralne w żywieniu zwierząt”, Poznań 1994, s. 9-34.
- Anon.: NRC – National Research Council, Nutrient Requirements of Horses, 1978, 1989.
- Auer D. E., Ng J. C., Thompson H. L., Inglis S., Seawright A. A.: Acute phase response in horses: changes in plasma cation concentrations after localised tissue injury. Vet. Rec. 1989, 124, 235-239.
- Auer D. E., Ng J. C., Steele D. P., Seawright A. A.: Monthly variation in the plasma copper and zinc concentration of pregnant and non-pregnant mares. Aust. Vet. J. 1988, 65, 61-62.
- Auer D. E., Ng J. C., Seawright A. A.: Assessment of copper and zinc status of farm horses and training thoroughbreds in south-east Queensland. Aust. Vet. J. 1988, 65, 317-320.
- Bridges C. H., Moffitt P. G.: Influence of variable content of dietary zinc on copper metabolism of weanling foals. Am. J. Vet. Res. 1990, 51, 275-280.
- Cousins R. J.: Absorption, transport and metabolism copper and zinc: special reference to metallothionein and ceruloplasmin. Physiol. Rev. 1985, 65, 238-309.
- Danek J., Wiśniewski E.: Wpływ niedoboru cynku w diecie na wskaźniki hematologiczne, aktywność fosfatazy zasadowej i stężenie białka całkowitego w surowicy oraz na zawartość cynku, miedzi i wapnia w surowicy i sierści ogierów. Medycyna Wet. 1992, 48, 521-523.
- Danek J., Wiśniewski E.: Zmiany jakości nasienia w niedoborze cynku u ogierów. Medycyna Wet. 1992, 48, 566-568.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W., Dąbrowska J.: Wpływ nadmiaru wapnia w paszy na wskaźniki hematologiczne oraz biochemiczne w surowicy krwi i sierści ogierów. Medycyna Wet. 1995, 51, 544-546.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W., Dąbrowska J.: Skład mineralny osocza nasienia koników polskich. Mat. PAN Popielno 1995, s.77-80.
- Danek J., Dąbrowska J., Krumrych W.: Wpływ niedoboru miedzi na rozwój kości u koni. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1996, 434, 753-757.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W.: Zmiany stężenia cynku, miedzi i żelaza w surowicy krwi i osoczu nasienia w sezonie kopylacyjnym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1996, 434, 759-768.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W.: Wpływ nadmiaru wapnia w paszy na jakość nasienia ogierów. Medycyna Wet. 1996, 52, 459-461.
- Danek J., Gehrke M.: Zur Zinkkonzentration im Samenplasma von Hengsten. 17. Arbeitstagung Mengen-und Spurenelemente. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 1997, s. 251-260.
- Danek J.: The effect of zinc supplementation on zinc content in blood serum and seminal plasma and on the quality of stallion semen. Pferdeheilkunde 1998, 14, 231-240.
- Danek J., Gehrke M., Krumrych W.: Effect of supplemental dietary zinc on hair and blood serum zinc levels in stallions. 19. Arbeitstagung Mengen-und Spurenelemente. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 1999, s.768-775.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W.: Wpływ dodatku wapnia i cynku na wskaźniki hematologiczne i biochemiczne krwi ogierów. Medycyna Wet. 1997, 53, 351-354.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W.: Correlation between zinc, copper and calcium concentration in seminal plasma and the characteristics of semen in relation to breed and age of stallions. Bull. Vet. Inst. Puławy 1998, 42, 160-161.
- Danek J., Wiśniewski E., Krumrych W.: Korelacje między stężeniem cynku, miedzi i wapnia w surowicy krwi a cechami nasienia ogierów. Medycyna Wet. 1999, 55, 259-264.
- Danek J.: Biochemical changes in seminal plasma after endotoxin injection in stallions. Bull. Vet. Inst. Puławy 2000, 44, 193-199.
- Danek J.: The effect of administration of Escherichia coli lipopolysaccharides on the quality of stallion semen. J. Vet. Med. – w druku.
- Drolet R., Laverty S., Braselton W. E., Lord N.: Zinc phosphide poisoning in a horse. Equine vet. J. 1996, 28, 89-91.
- Eames G. J., Macadam J. F., Laing E. A.: Skeletal abnormalities in young horses associated with zinc toxicity and hypocuprosis. Aust. Vet. J. 1984, 61, 205-207.
- Grace N. D., Pearce S. G., Firth E. C., Fennessy P. F.: Concentrations of macro- and microelements in the milk of pasture-fed thoroughbred mares. Aust. Vet. J. 1999, 77, 177-180.
- Gromadzka-Ostrowska J., Zalewska B., Jakubów K., Goźliński H.: Three-year study on trace mineral concentration in the blood plasma of Shetland pony mares. Comp. Biochem. Physiol. 1985, 82A, 651-660.
- Grzebuła S.: Badania nad zawartością niektórych składników mineralnych w surowicy klaczy i zrebriat oraz w glebach i roślinności użytków zielonych – w krajowych stadniniach koni. Mat. VII Kong. PTNW Warszawa 1987, s.187.
- Harrington D. D., Walsh J., White V.: Clinical and pathological findings in the horses fed zinc-deficient diets. Proc. 3 rd Equine Nutr. Physiol. Symp. Gainesville F. I. 1973, p.51-54.
- Kośla T., Siebert E., Anke M., Szentmihályi S.: Der Mengen- und Spurenelementstatus und –bedarf des Pferdes. 2. Mitteilung: Zink. Arbeitstagung, Karl Marx Universität Leipzig 1985, s.356-366.
- Kośla T., Anke M.: Zapotrzebowanie na mikroelementy u koni. Koń Pol. 1986, 3, 14-15.
- Krumrych W., Wiśniewski E.: Wpływ płci na wartość biochemicznych wskaźników krwi u koni. Medycyna Wet. 1993, 49, 327-329.
- Krumrych W., Wiśniewski E., Danek J., Dąbrowska J.: Sezonowa zmienność składników mineralnych, glukozy i białek we krwi koników polskich. Medycyna Wet. 1995, 51, 168-170.
- Krumrych W., Wiśniewski E., Danek J.: Haematological parameters of the Polish Primitive Horses. Arch. Vet. Pol. 1993, 33, 205-216.
- Krumrych W., Wiśniewski E., Danek J., Gehrke M.: Influence of multiple endotoxin injectons on Fe, Zn and Cu concentrations in blood serum in horses. Bull. Vet. Inst. Puławy 2001, 45, 243-252.
- Meyer H., Lemmer U.: Mineralstoff – und Spurenelementgehalt in Serum bzw. Plasma des Pferdes. Dt. tierärztl. Wschr. 1973, 80, 190-193.
- Ott E. A., Asquith R. L.: Trace mineral supplementation of yearling horses. J. Anim. Sci. 1995, 73, 466-471.
- Ott E. A.: Nutritional Factors in Developmental Orthopedic Disease. Robinson N. E.: Current Therapy in Equine Medicine (3). WB Saunders Company, Philadelphia. 1992, pp. 720-723.
- Ralston S. L.: Diagnosis of Common Mineral Imbalances. Robinson N. E.: Current Therapy in Equine Medicine (3). WB Saunders Company, Philadelphia. 1992, pp. 717-720.
- Sasimowski E., Budzyński M.: Żywienie koni. PWRiL, Warszawa 1981, 1987.
- Sasimowski E., Budzyński M., Lipecka C., Moczybroda J., Kapron M.: Skład chemiczny paszki kopytowej koni szlachetnych i zimnokrwistych zapisanych do polskich ksiąg stadnych. Roczn. Nauk Rol., Ser. B. 1987, 103, 131-146.
- Sato K., Miyake M., Sugawara M., Takeyama T., Oohashi S., Iwama N., Sugiyama K., Inoue H., Yoshikawa T.: Jap. J. Zootech. Sci. 1973, 44, 476-482.
- Schryver H. F., Hintz H. F., Lowe J. E.: Absorption, excretion and tissue distribution of stable zinc and ⁶⁵Zn in ponies. J. Anim. Sci. 1980, 51, 896-902.
- Schryver H. F., Ofstedal O. T., Williams J., Soderholm L. V., Hintz H. F.: Lactation in the horse: the mineral composition of mare milk. J. Nutr. 1986, 116, 2142-2147.
- Schmidt M.: Ein Beitrag zum Spurenelementgehalt in Schweiss und Organen des Pferdes. Dt. tierärztl. Wschr. 1984, 91, 197-198.
- Stubley D., Campbell C., Dant C., Blackmore D. J.: Copper and zinc levels in the blood of Thoroughbreds in training in the United Kingdom. Equine vet. J. 1983, 15, 253-256.
- Świdzińska M., Mróz-Demińska S.: Obserwacje poziomów wybranych makro- i mikroelementów w surowicy krwi, mleku i sierści koni pełnej krwi angielskiej w stadninie Golejewko. Roczn. Nauk Rol. 1985, 12, 85-93.
- Wiśniewski E., Krumrych W., Danek J.: Latency period and developmental phases of fever in horses. Bull. Vet. Inst. Puławy 1992, 36, 31-38.
- Wiśniewski E., Danek J., Krumrych W., Lachowski A.: Nutritional immunity in horses. Bull. Vet. Inst. Puławy 1993, 37, 32-36.
- Wiśniewski E., Danek J.: Etiopatogeneza osteochondrozy koni. Medycyna Wet. 1994, 50, 20-23.
- Wiśniewski E., Danek J., Krumrych W., Dąbrowska J.: Wpływ LPS na kliniczne wskaźniki zdrowia oraz zmiany we krwi koni. Zesz. Nauk AR Wrocław 1994, 250, 59-63.
- Żmudziński J.: Zawartość ołowiu, kadmu, cynku, miedzi i żelaza w tkankach zwierząt domowych ze szczególnym uwzględnieniem regionów typowo rolniczych i przemysłowych. Praca dokt., Puławy 1978.