

# Wpływ siarczanu glinu na wytrzymałość tkanki kostnej kurcząt brojlerów

MAREK BIEŃKO, RADOSŁAW PIOTR RADZKI, IWONA PUZIO,  
MAŁGORZATA KAPICA, TADEUSZ STUDZIŃSKI

Katedra Biochemii i Fizjologii Zwierząt Wydziału Medycyny Weterynaryjnej AR, ul. Akademicka 12, 20-033 Lublin

Bieńko M., Radzki R. P., Puzio I., Kapica M., Studziński T.

## Influence of aluminum sulphate on bone resistance in broiler chickens

### Summary

The aim of the study was to determine the effect of aluminum sulphate added to the drinking water on bone resistance in broiler chickens during the first 4 weeks of life. The experiment was carried out on 80 Hybro race broiler chickens from the second day of life to the age of 4 weeks. During the experiment the chicks had free access to the feed and water with aluminum sulphate solution with 3 different doses: 1 (group A), 2 (group B) and 3 gram per liter (group C). The water level was controlled daily. At the end of the experiment the chicks were slaughtered and femoral bones collected for further analysis.

Using Instron 4302 apparatus, the relationship between the force acting perpendicularly to the long axis of the bone and deformation was characterized by following parameters: the breaking force and the force of resilience limit (three-point bending test). The internal and external of longitudinal and transverse cross-section was measured on X-ray film using computer software Scion Image (Mac). Aluminum sulphate added to the drinking water significantly decreased the force of resilience limit in female's femoral bones in experimental groups in comparison to the control one (154.8 N – control, 133.7 N – group A, 85.1 N – group B and 58.6 N – group C). The breaking force of female's femora in experimental groups was significantly lower in comparison to the control group: 272.8 N (control), 231.9 N (group A), 225.6 N (group B) and 170.2 N (group C) respectively. In the male's femora the breaking force and the force of resilience limit in the experimental groups were also lower. The results of this experiment prove the disadvantageous influence of aluminum sulphate solutions added to the drinking water on bone resistance and the internal and external of longitudinal and transverse cross-section in femoral bones in both sexes in all experimental groups.

**Keywords:** broiler chickens, aluminum sulphate, bone resistance

Zjawisko sprężystości gra ważną rolę w żywym organizmie, ponieważ wszystkie tkanki podlegają ustawicznie mniej lub bardziej wyraźnym odkształceniom typu sprężystego, a więc: ściskaniu, rozciąganiu, zginaniu i skręcaniu. Dzięki, na przykład, sprężystości chrząstek żebrowych po każdym oddechu ściana klatki piersiowej wraca do normalnej pozycji, po ustąpieniu skurczu mięśni przy wdechu. Sprężystość krążków międzykręgowych kręgosłupa pomaga przy utrzymaniu ciała w pozycji prostej, sprężystość tkanki łącznej współdziała z siłą ciężkości i napięciem mięśni dla utrzymania równowagi, w układzie krwionośnym sprężystość naczyń zamienia prąd przerywany strumienia krwi na prąd ciągły (20, 22).

Budowa niektórych kości szkieletu jest zgodna z jak najdoskonalszym sposobem z punktu widzenia sprężystości. Właściwości sprężyste nadaje kości podłoże łącznotkankowe, zaś sztywność i twardość jest związana z obecnością soli mineralnych, głównie fosforu i wapnia. Doskonałym przykładem jest główka kości

udowej zbudowana z kości gąbczastej. Kształt beleczek kostnych jest ściśle dopasowany do kształtu linii naprężeń ciężaru ciała i do kształtu linii sił naprężenia spowodowanego działaniem mięśni. Pierwsze przebiegają w sposób wklęsły od góry do dołu i zebrane są równolegle wzdłuż trzonu kości, drugie przebiegają u góry w sposób wypukły i biegną również równolegle wzdłuż trzonu. W budowie kości szkieletu wykorzystana jest również inna właściwość zapewniająca wytrzymałość kości na działanie sił obciążających. Wszystkie kości długie szkieletu są w części środkowej rurami, dzięki czemu ciężar szkieletu, zachowując tę samą wytrzymałość, jest znacznie mniejszy niż byłby wtedy, gdyby kości były pełne. Odporność rury na zginanie i złamanie jest o wiele większa niż pręta. Taką samą budowę spotyka się jeszcze w wielu przykładach związanych z przyrodą, np. konstrukcja piór ptasich, łodyg roślin (6-8, 13).

Podczas działania na układ kostny sił dynamicznych i obciążeń kość ulega odkształceniom, zachowując

ciągłość swojej struktury do momentu przekroczenia granicy sprężystości. Po jej przekroczeniu zaczynają pojawiać się mikropęknięcia w strukturze tkanki, która po przekroczeniu granicy wytrzymałości ulega całkowitemu przerwaniu (złamania) (23). Powtarzające się odkształcenia wywołują „zmęczenie” materiału. Także jakość budulca tworzącego kości pozostaje w ścisłym związku z jej odpornością na działanie naprężeń. Zaburzenia w budowie tkanki kostnej, utrata składników mineralnych i rzeszotowienie kości związane z osteomalacją oraz osteoporozą, a także działanie szkodliwych czynników środowiskowych i leków prowadzi często do nieodwracalnych zmian w budowie kości, obniżając tym samym jej możliwość reagowania w sposób prawidłowy na pojawiające się w niej naprężenia (4). Do szkodliwych czynników, mających wpływ na tkankę kostną, należą związki glinu szeroko stosowane jako dodatki do żywności i pasz (działanie spulchniające, stabilizujące pH, zapobiegające zbrylaniu się) oraz jako środki służące do oczyszczania wody pitnej, wytrącające substancje organiczne, które zmieniają barwę i smak wód powierzchniowych.

Celem badań było określenie wpływu podawania 3 różnych dawek siarczanu glinu w wodzie pitnej na wytrzymałość, na działanie obciążeń dynamicznych, kości udowych samic i samców kurcząt brojlerów w pierwszych 4 tygodniach życia.

### Materiał i metody

Badania przeprowadzono na 80 kurczętach brojlerach, obu płci, rasy Hybro pochodzących z wylęgarni drobiu w Turce koło Lublina. Ptaki przebywały w standardowych warunkach chowu na fermie drobiu. Jako klatki hodowlane wykorzystano specjalnie skonstruowane boksy o wymiarach  $1,2 \times 1,2$  m usytuowane w kurniku bezpośrednio na podłożu z trocin razem z resztą stada liczącego około 15 tysięcy sztuk. Obsada jednego boksu liczyła 10 sztuk kurcząt tej samej płci. Czas doświadczenia obejmował okres od 2 dób do 4 tygodni życia. Kurczęta karmiono *ad libitum* mieszankami pełnoporcjowymi stosowanymi standardowo w tuczu przemysłowym. Kurczętom zapewniono stały dostęp do czystej wody pitnej dla grup kontrolnych i wody z dodatkiem siarczanu glinu dla grup doświadczalnych. Stosowano 3 różne dawki siarczanu glinu na 1 litr wody, tj. 1 (grupa A), 2 (grupa B) i 3 (grupa C) gramy. Wodę czystą oraz wodę z dodatkiem siarczanu glinu podawano w wyskalowanych poidelkach szklanych o pojemności  $1,25 \text{ dm}^3$ . Wodę dla grup kontrolnych, jak i doświadczalnych wymieniano codziennie na świeżą, kontrolując jednocześnie jej

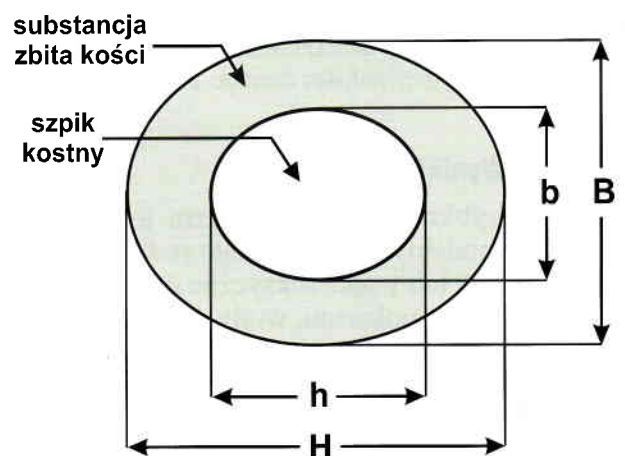
Tab. 1. Średnie tygodniowe spożycie glinu (w gramach) na jedno kurczę w grupach doświadczalnych

Tydzień życia	Grupa A	Grupa B	Grupa C
1	0,04	0,08	0,17
2	0,09	0,17	0,37
3	0,14	0,26	0,57
4	0,18	0,35	0,68

dobowe spożycie. Pozwoliło to na określenie średniego tygodniowego spożycia glinu przez jedno kurczę w grupach doświadczalnych (tab. 1).

W wieku 4 tygodni ubojowi poddano kurki i kogutki grup doświadczalnych i grup kontrolnych. Przed ubojem kurczęta ważono, natomiast po uboju pobierano kości udowe ramienne, które w toku poprzednich badań okazały się najbardziej reprezentatywne do tego typu analiz. Kości przeznaczone do analizy gęstości mineralnej oczyszczano dokładnie z tkanek miękkich i na czas przechowywania poddawano mrożeniu w temperaturze:  $-25^\circ\text{C}$  do  $-30^\circ\text{C}$ . Sporządzono zdjęcia rentgenowskie wyizolowanych kości. Radiogramy zostały wykonane na tym samym aparacie Multax 320, przy zachowaniu stałych warunków ekspozycji ( $40 \text{ kV} + 2-3$  i  $50 \text{ mAs}$ ) wywoływania. Radiogramy wykonano na jednej serii filmów (Typon Typox RP) oraz wywoływano ręcznie, utrzymując stałą temperaturę odczynników. Zdjęcia kości wykonano w dwóch płaszczyznach. Następnie w postaci cyfrowej zostały one wprowadzone do pamięci komputera. Pomiar długości oraz średnic zewnętrznych i wewnętrznych kości w obu płaszczyznach (ryc. 1) wykonany został w programie Scion Image po jego wcześniejszej kalibracji (przeliczenie skali obrazu do rzeczywistych wartości pomiaru) (21).

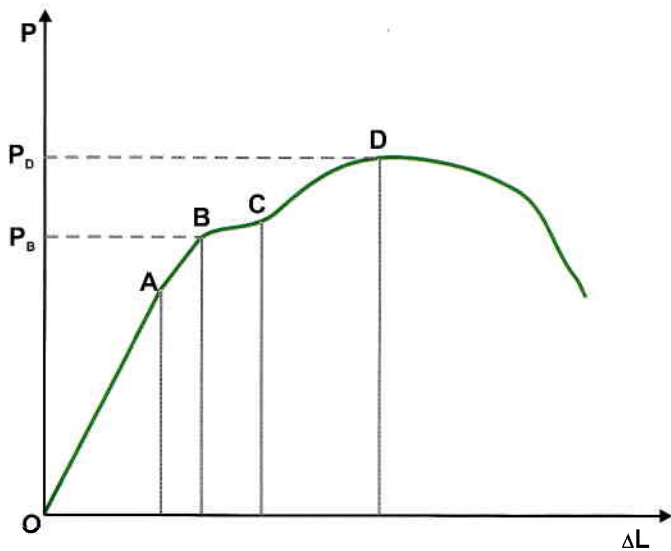
Kości kurcząt grup doświadczalnych i grup kontrolnych poddawano działaniu obciążeń dynamicznych z zastosowaniem aparatu Instron 4302 połączonego z komputerem rejestrującym w postaci wykresu zależność między siłą działającą prostopadle do długiej osi kości a odkształceniem, wykorzystując tzw. 3-punktowy test zginania wg Ferrettiego i wsp. (9, 11, 12). Zastosowano głowicę pomiarową o zakresie działania  $0-1 \text{ kN}$ . Za kryterium oceny przyjęta została siła obciążenia przy stałej prędkości głowicy pomiarowej  $V = 10 \text{ mm/min}$ . Kości do badań umieszczono na podporach o rozstawie odpowiadającym 40% długości kości celem uniknięcia podparcia w częściach przynasadowych.



- b – pionowa średnica wewnętrzna kości
- B – pionowa średnica zewnętrzna kości
- h – pozioma średnica wewnętrzna kości
- H – pozioma średnica zewnętrzna kości

Ryc. 1. Schemat pomiaru średnic zewnętrznych i wewnętrznych w płaszczyźnie poziomej i pionowej kości udowych





Ryc. 2. Zależność odkształcenia kości od działającej siły

Kości charakteryzowane były następującymi parametrami wytrzymałościowymi:

- wartością średnią siły maksymalnej, obliczoną z wartości określających tzw. punkt złamania, w którym następuje dezintegracja struktury kości (granica wytrzymałości),
- wartością średnią siły w punkcie przekraczania granicy sprężystości, obliczoną z tzw. punktów sprężystości wyznaczonych odchyleniem stycznej od linii obrazującej zależność między siłą a odkształceniem.

Do pewnej wielkości granicznej odkształcenie  $\Delta L$  wzrasta proporcjonalnie do wielkości przyłożonej siły  $P$  (tzw. prawo Hooke'a). Po usunięciu siły ciało powraca do swojej pierwotnej postaci (odcinek  $OA$  na wykresie). Istnieje pewna granica odkształcenia, powyżej której ciało przestaje podlegać prawu Hooke'a, a po usunięciu siły pozostaje zdeformowane. Tę deformację ( $BC$ ) nazywamy odkształceniem trwałym, a wartość siły odkształcającej  $P_B$  nazywamy granicą sprężystości. Po przekroczeniu granicy sprężystości przy dalszym powiększaniu siły przyłożonej następuje w pewnej chwili pęknięcie lub trwałe zgięcie ciała. Tę wartość siły odkształcającej nazywamy granicą wytrzymałości danego ciała  $P_D$  (ryc. 2).

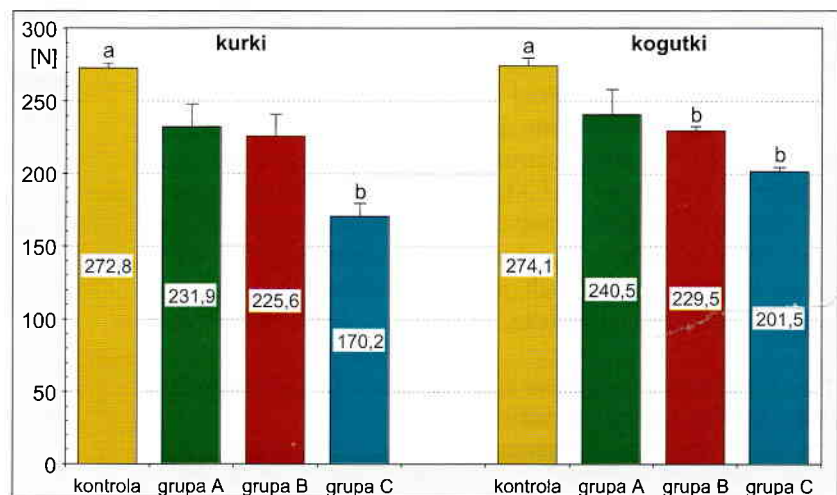
## Wyniki i omówienie

Młody, szybko rosnący organizm jest szczególnie podatny na wszelkiego rodzaju niekorzystne lub wręcz toksyczne czynniki pochodzące z pokarmu, wody do picia czy też środowiska. Badanie cech wytrzymałościowych układu kostno-szkieletowego jest jedną z metod oceny wpływu różnych substancji na zmiany, jakie mogą wystąpić w strukturze kości, a mogących przyczynić się do zaburzeń związanych z odpornością mechaniczną kości na działanie dynamicznych sił i obciążeń odkształcających (5, 8, 23). Tkanka kostna z racji pełnienia funkcji podporowo-nośnych, jak i ochronnych dla narządów wewnętrznych

jest szczególnie wrażliwa na urazy mechaniczne pochodzące ze środowiska zewnętrznego. Dobra kondycja zdrowotna kości jest więc czynnikiem szczególnie ważnym przy prawidłowej funkcji układu kostno-szkieletowego. Jednym z czynników mogących wpływać szkodliwie na układ kostny jest glin, którego źródłem może być pokarm (wysoka zawartość glinu w przyprawach naturalnych, np. nawet do 30 g/kg w suchych liściach herbaty), pasze dla zwierząt (soja) oraz dodatki do żywności (1-3, 14-19).

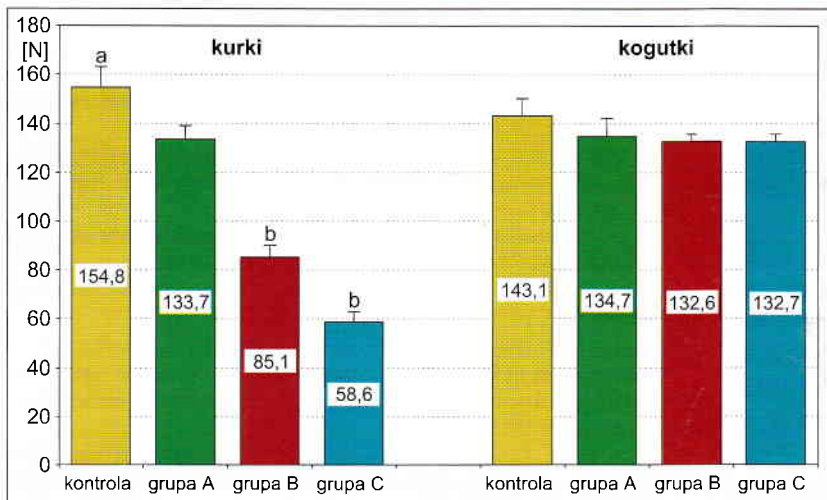
**Granica wytrzymałości.** Ocena siły maksymalnej określającej punkt, w którym następuje dezintegracja struktury kości i jej złamanie (granica wytrzymałości) wykazała, że podawanie siarczanu glinu w wodzie do picia w 3 różnych dawkach spowodowało u kurek istotne zmniejszenie tego parametru we wszystkich grupach doświadczalnych w porównaniu z grupą kontrolną. Największy spadek wartości siły maksymalnej miał miejsce w grupie otrzymującej najwyższą dawkę glinu – 37,6% w porównaniu z grupą kontrolną. W pozostałych grupach również odnotowano istotny spadek wspomnianego parametru. W grupie A wartość granicy wytrzymałości obniżyła się o 14,9%, a w grupie B o 17,3%. Analogiczna sytuacja miała miejsce u kogutków. Czterotygodniowy okres podawania glinu wpłynął na istotne obniżenie siły maksymalnej. Grupa A miała wartości niższe od grupy kontrolnej o 12,2%, grupa B o 16,3%, a grupa C o 26,5% (ryc. 3).

**Granica sprężystości.** Granica sprężystości kości będąca maksymalną wartością w zakresie obciążeń elastycznych wykazywała podobną do siły maksymalnej tendencję zmian. Podawanie przez okres 4 tygodni siarczanu glinu w wodzie do picia spowodowało obniżenie wartości granicy sprężystości kości udowej kurek we wszystkich grupach doświadczalnych w porównaniu z grupą kontrolną. Największy spadek zanotowano w grupie otrzymującej najwyższą dawkę



Ryc. 3. Granica wytrzymałości dla kości udowej kurek i kogutków grup kontrolnych i grup doświadczalnych wyrażona w niutonach (N). Linie na szczytach kolumn przedstawiają błąd standardowy średniej ( $\bar{x} \pm S.E.$ )

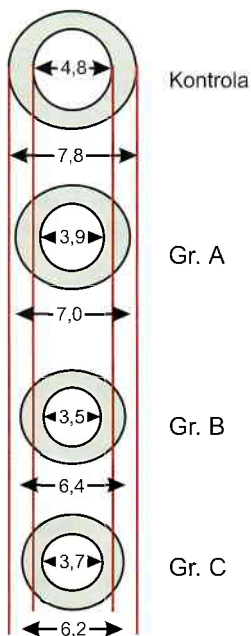
Objaśnienie: a i b różnice istotne ( $p \leq 0,05$ ) pomiędzy grupami kontrolnymi a doświadczalnymi



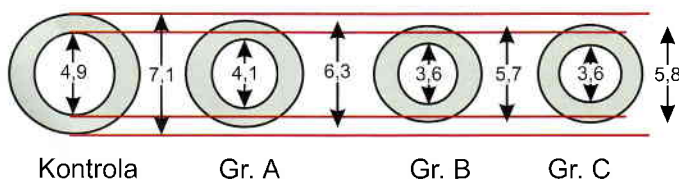
Ryc. 4. Granica sprężystości dla kości udowej kurek i kogutków grup kontrolnych i grup doświadczalnych wyrażona w niutonach (N). Linie na szczycach kolumn przedstawiają błąd standardowy średniej ( $\bar{x} \pm S.E.$ )  
Objaśnienie: jak na ryc. 3.

glinu, wynosił on 62,1%. W pozostałych grupach zmiany były mniejsze: 13,6% (grupa A) i 45% (grupa B). Kość udowa kogutków okazała się bardziej odporna na niekorzystny wpływ stosowanego w doświadczeniu siarczany glinu. Zmiany wartości granicy sprężystości były nieznacznie niższe w stosunku do grupy kontrolnej: 5,8% (grupa A), oraz 7,2% (grupa B i C) (ryc. 4).

**Średnice kości.** Mechaniczne cechy kości uwarunkowane są nie tylko jakością materiału kostnego i jego składu, ale również uzależnione bezpośrednio od jego wytrzymałości na obciążenia. Oprócz prawidłowego składu mineralnego kość będzie tym bardziej wytrzymała na działające na nią obciążenia, a więc na pęknięcia oraz złamania, im bardziej w swoim przekroju będzie ona przypominać rurę niż pręt (10). Zgodnie z zasadami mechaniki odporność na zginanie, które zachodzi wtedy, gdy siły odkształcające działają



Ryc. 5. Wymiary zewnętrzne i wewnętrzne (mm) przekroju poziomego kości udowej kurek grupy kontrolnej i grup doświadczalnych



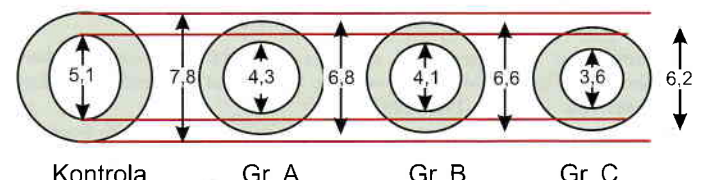
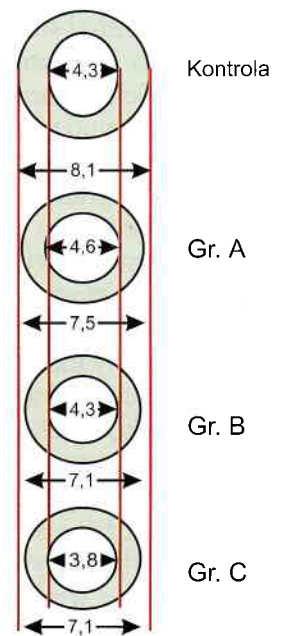
Ryc. 6. Wymiary zewnętrzne i wewnętrzne (mm) przekroju pionowego kości udowej kurek grupy kontrolnej i grup doświadczalnych

prostopadle do osi podłużnej ciała (które może być na obu końcach podparte swobodnie lub trwale zamocowane, a siła przyłożona w jednym punkcie albo dowolnie rozłożona wzdłuż długości pręta) zależy od tzw. strzałki ugięcia. Im bardziej kość będzie przypominać rurę o wzmocnionych częściach zewnętrznych (odkładający się na zewnątrz jamy szpikowej materiał kostny), tym mniejsza będzie strzałka ugięcia, a większa wytrzymałość.

Zmierzone komputerowo średnice wewnętrzne i zewnętrzne przekroju pionowego i poziomego kości kurcząt brojlerów wykazały, że siarczan glinu podawany przez okres 4 tygodni zmniejszył w istotny sposób analizowane parametry. Kości udowe kurek w grupach doświadczalnych miały mniejsze średnice poprzeczne przekroju zewnętrznego i wewnętrznego w porównaniu z grupą kontrolną. Wymiary zewnętrzne wyglądały następująco: 7,8 mm (kontrola), 7,0 mm (grupa A), 6,4 mm (grupa B) oraz 6,2 mm (grupa C). Wymiary wewnętrzne wykazywały taką samą tendencję: 4,8 mm (kontrola), 3,9 mm, 3,5 mm oraz 3,7 mm w poszczególnych grupach doświadczalnych (ryc. 5). Średnice pionowe przekroju kości (zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne) również były niższe w grupach doświadczalnych w porównaniu z grupą kontrolną. Wymiary zewnętrzne kształtowały się następująco: 7,1 mm (kontrola), 6,3 mm (grupa A), 5,7 mm (grupa B) i 5,8 (grupa C). Średnice wewnętrzne zmniejszyły się z 4,9 mm (kontrola) do 4,1 mm w grupie A oraz do 3,6 mm w grupach B i C (ryc. 6).

Siarczan glinu podawany w wodzie pitnej spowodował zmiany w średnicach wewnętrznych i zewnętrznych przekroju pionowego i poziomego

Ryc. 7. Wymiary zewnętrzne i wewnętrzne (mm) przekroju poziomego kości udowej kogutków grupy kontrolnej i grup doświadczalnych



Ryc. 8. Wymiary zewnętrzne i wewnętrzne (mm) przekroju pionowego kości udowej kogutków grupy kontrolnej i grup doświadczalnych

mego kości udowej kogutków. Kości grup doświadczalnych miały mniejsze średnice poprzeczne przekroju zewnętrznego i wewnętrznego w porównaniu z grupą kontrolną. Wartości dla wymiarów zewnętrznych kształtowały się następująco: 8,1 mm (kontrola), 7,5 mm (grupa A), 7,1 mm (grupa B i C). Wymiary wewnętrzne były niższe w grupie C – 3,8 mm, natomiast grupy B i C miały wymiary zbliżone do kości grupy kontrolnej (4,3 mm) (ryc. 7). Średnice pionowe przekroju kości udowej (zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne) były niższe we wszystkich grupach doświadczalnych w stosunku do grupy kontrolnej. Wymiary zewnętrzne kształtowały się następująco: 7,8 mm (kontrola), 6,8 mm (grupa A), 6,6 mm (grupa B) i 6,2 mm (grupa C). Średnice wewnętrzne przekroju kości wyglądały następująco: 5,1 mm (kontrola), 4,3 mm (grupa A), 4,1 mm (grupa B) oraz 3,6 mm (grupa C) (ryc. 8).

Przyłożenie do ciała stałego sił zewnętrznych powoduje odkształcenie ciała tym większe, im większa jest siła przyłożona. Dopóki odkształcenie to nie przekracza pewnej charakterystycznej dla danego ciała granicy, to po usunięciu sił zewnętrznych ciało stałe wraca do pierwotnego kształtu. Ta zasada mechaniki odnosi się również do tkanki kostnej. W wyniku długotrwałej ewolucji kości zwierząt i ptaków przyjęły najbardziej racjonalną i wytrzymałą na odkształcenia budowę, jaką jest rura.

Przeprowadzone badania wykazały, że podawanie w wodzie pitnej siarczanu glinu w 3 różnych dawkach kurczętom brojlerom spowodowało zaburzenia we właściwościach mechanicznych tkanki kostnej. Znacznemu obniżeniu uległa wytrzymałość kości udowej na działanie sił obciążających. Przejawiało się to w spadku wartości granicy wytrzymałości i granicy sprężystości. Znacznemu zmniejszeniu uległy też średnice wewnętrzne i zewnętrzne kości w grupach doświadczalnych w stosunku do grup kontrolnych. Badanie wytrzymałości mechanicznej kości jest doskonałą metodą oceny układu kostnego. Niekorzystne czynniki działające na tkankę kostną mogą zmieniać jej charakterystykę mechaniczną, co z kolei może być diagnozowane w testach wytrzymałościowych. Zastosowanie kurcząt brojlerów jako modelu doświadczalnego stwarza możliwość oceny wpływów farmakologicznych, żywieniowych, a także toksykologicznych na metabolizm i właściwości wytrzymałościowe układu kostnego.

## Piśmiennictwo

1. *Bushinsky D. A., Sprague S. M., Hallegot P., Girod C., Chabala J. M., Levi-Setti R.*: Effects of aluminum on bone surface ion composition. *J. Bone Miner. Res.* 1995, 10, 1988-1997.
2. *Cannata Andia J. B.*: Aluminium toxicity: its relationship with bone and iron metabolism. *Nephrol. Dial. Transplant.* 1996, 11 Suppl 3, 69-73.
3. *Capdevielle M. C., Scanes C. G.*: Effect of dietary acid or aluminum on growth and growth-related hormones in young chickens. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1995, 133, 164-171.
4. *Capozza R. F., Cointry G. R., Cure-Ramirez P., Ferretti J. L., Cure-Cure C.*: A DXA study of muscle-bone relationships in the whole body and limbs of 2512 normal men and pre- and post-menopausal women. *Bone.* 2004, 35, 283-295.
5. *Cointry G. R., Capozza R. F., Ferretti J. L., Frost H. M.*: Toward an anthropometric diagnosis of osteopenia and a biochemical diagnosis of osteoporosis. *Medicina (B Aires).* 2003, 63, 737-747.
6. *Di Masso R. J., Font M. T., Capozza R. F., Detarsio G., Sosa F., Ferretti J. L.*: Long-bone biomechanics in mice selected for body conformation. *Bone.* 1997, 20, 539-545.
7. *Evans G. F.*: Stress and strain in bones. Their relation to fractures and osteogenesis. Charles Thomas, Springfield, Illinois, USA 1957.
8. *Evans G. F.*: Mechanical properties of bone. Charles Thomas, Springfield, Illinois, USA 1973.
9. *Ferretti J. L., Capozza R. F., Mondelo N., Montuori E., Zanchetta J. R.*: Determination of femur structural properties by geometric and material variables as a function of body weight in rats. Evidence of a sexual dimorphism. *Bone.* 1993, 14, 265-270.
10. *Ferretti J. L., Cointry G. R., Capozza R. F., Frost H. M.*: Bone mass, bone strength, muscle-bone interactions, osteopenias and osteoporoses. *Mech. Ageing Dev.* 2003, 124, 269-279.
11. *Ferretti J. L., Gaffuri O., Capozza R., Cointry G., Bozzini C., Olivera M., Zanchetta J. R., Bozzini C. E.*: Dexamethasone effects on mechanical, geometric and densitometric properties of rat femur diaphyses as described by peripheral quantitative computerized tomography and bending tests. *Bone.* 1995, 16, 119-124.
12. *Ferretti J. L., Spiaggi E. P., Capozza R., Cointry G., Zanchetta J. R.*: Interrelationships between geometric and mechanical properties of long bones from three rodent species with very different biomass: phylogenetic implications. *J. Bone Miner. Res.* 1992, 7 Suppl 2, S433-S435.
13. *Frost H. M.*: An introduction to biomechanics. Springfield, Illinois, USA 1967.
14. *Goodman W. G., Duarte M. E.*: Aluminum: effects on bone and role in the pathogenesis of renal osteodystrophy. *Miner. Electrolyte Metab.* 1991, 17, 221-232.
15. *Goodman W. G., O'Connor J.*: Aluminum alters calcium influx and efflux from bone in vitro. *Kidney Int.* 1991, 39, 602-607.
16. *Goyer R. A.*: Toxic and essential metal interactions. *Annu. Rev. Nutr.* 1997, 17, 37-50.
17. *Johnson N. E., Harland B. F., Ross E., Gautz L., Dunn M. A.*: Effects of dietary aluminum and niacin on chick tibiae. *Poult. Sci.* 1992, 71, 1188-1195.
18. *Kerr D., Ward K., Ellis A., Simpson-Parkinson S.*: Aluminium intoxication in renal disease. John Wiley&Sons 1992, UK.
19. *Kloppel H., Fliedner A., Kordel W.*: Behaviour and ecotoxicology of aluminium in soil and water – review of the scientific literature. *Chemosphere.* 1997, 35, 353-363.
20. *Martinko V., Belay M., Machay S., Jelinek L.*: Biomechanics of the bones and skeleton. III. Microstructure. *Acta Chir. Orthop. Traumatol. Cech.* 1989, 56, 160-168.
21. *Pan X., Takayama A., Shibata Y., Ito H.*: Morphologic analysis of Japanese adult sacroiliac joint using computed tomographic images. *J. Nippon Med. Sch.* 2003, 70, 416-421.
22. *Planche R., Fournier J., Guillot M., Scheye T., Escande G., Chazal J., Vanneville G.*: Various mechanic characteristics of bony structures of the temporomandibular joint in several classes of mammals studied by measurement of hardness and resistance to penetration. *Bull. Assoc. Anat. (Nancy)* 1990, 74, 23-27.
23. *Schneider P., Reiners C., Cointry G. R., Capozza R. F., Ferretti J. L.*: Bone quality parameters of the distal radius as assessed by pQCT in normal and fractured women. *Osteoporos. Int.* 2001, 12, 639-646.

Adres autora: dr Marek Bieńko, ul. Akademicka 12, 20-033 Lublin;  
e-mail: markus@agros.ar.lublin.pl