

Joanna SADOWSKA, Magdalena KROMKA-SZYDEK, Instytut Mechaniki Stosowanej, Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

ZMIANY WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH KOŚCI ZWIERZĘCYCH W ZALEŻNOŚCI OD STOPNIA NAWILŻENIA PREPARATU

1. WSTĘP

Metody badań mechaniki eksperymentalnej coraz częściej stosowane są w odniesieniu do zagadnień biomechaniki i biomateriałów [2]. Jednak adaptacja poszczególnych metod do zagadnień biomechanicznych często wymaga nowych technik pomiarowych, oraz ponownej interpretacji powszechnie przyjętych pojęć i terminów.

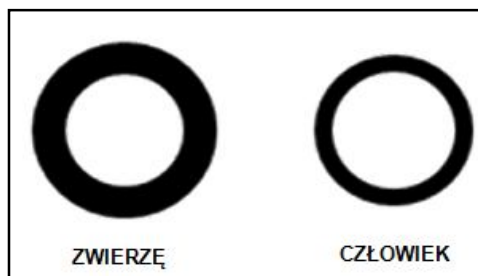
W przypadku kości metodyka badań musi uwzględniać ograniczone możliwości badań *in vivo*, sprowadzające się głównie do badań pośrednich, nieniszczących (np. metody densometryczne, akustyczne, termowizyjne) [2]. Natomiast badania *in vitro* wymagają odtworzenia oraz dostosowania warunków biofizycznych i biochemicznych, które mają istotny wpływ na własności badanego obiektu. Nowego podejścia wymaga zdefiniowanie pojęcia próbki oraz decyzja o jej kształcie, sposobie i miejscu pobrania ze względu na silną anizotropię tkanki kostnej.

Wytrzymałość mechaniczna kości jest uzależniona od wielu składowych. Jednym z głównych czynników determinujących jest funkcja jaką kości pełni w organizmie. Ma ona znaczący wpływ na masę kości, jej strukturę jak również objętościową dystrybucję poszczególnych frakcji. Na wytrzymałość tkanki kostnej wpływa również wiek osobnika, płeć oraz stan zdrowia (predyspozycje do występowania osteoporozy oraz patogenezy). W przypadku badań *in vitro* na jakość próbki duży wpływ ma miejsce jej pobrania, orientacja przestrzenna oraz przede wszystkim sposób przechowywania preparatu. Właściwości próbek pobranych zaraz przed badaniem mogą różnić się nawet o 20% w stosunku do preparatów suchych.

Ze względu na znaczne trudności z pozyskaniem kości ludzkich, badania w biomechanice często wykonywane są na materiale pochodzenia zwierzęcego. Ponieważ większość zwierząt porusza się na czterech nogach, ich kości kończyn są zazwyczaj większe oraz grubsze niż kości ludzkie w stosunku do całkowitej wielkości szkieletu. Materiał pochodzący od zwierząt wykazuje większą gęstość w stosunku do wielkości, jest mniej porowaty i posiada znaczną grubość w przekroju. W kościach długich człowieka tkanka kostna stanowi $\frac{1}{4}$ całkowitej średnicy kości, natomiast w przypadku zwierząt stosunek ten wynosi 1:2 (rys.1). Istota trabekularna w dużej mierze jest nieobecna wewnątrz kości długich zwierząt co czyni powierzchnię rdzenia gładką. W przypadku porównania kości płaskich (m.in. kości sklepienia) można stwierdzić, że u zwierząt są one znacznie cieńsze oraz bardziej kompaktowe niż u ludzi [4]. W mikrostrukturze główną różnicę stanowi dystrybucja osteonów w istocie korowej. U ludzi komórki są równomiernie rozproszone podczas gdy u większości zwierząt, mają tendencję do wyrównywania się w wierszach (tzw. *osteon banding*) [4]. Podstawowe różnice w budowie kości ludzkich i zwierzęcych ilustruje tabela 1.

Tab. 1 Porównanie różnic w makro- i mikrostrukturze kości ludzkich i zwierzęcych.

<i>kość zwierzęca</i>	<i>kość ludzka</i>
istota korowa mniej porowata	istota korowa bardziej porowata
tkanka kostna stanowi ½ średnicy przekroju	tkanka kostna stanowi ¼ średnicy przekroju
gładka powierzchnia rdzenia	powierzchnia rdzenia mocno rozbudowana
kości płaskie- cienkie i kompaktowe	grubsze kości płaskie
osteony w wierszach	osteony równomiernie rozproszone



Rys. 1 Grubość tkanki kostnej w stosunku do średnicy przekroju dla kości zwierzęcej oraz kości ludzkiej.

Ze względu na złożoną problematykę zagadnienia w pracy skupiono się na wyznaczeniu wpływu suszenia i moczenia próbek pobranych z kości zwierzęcych na zmianę własności mechanicznych. Charakterystyczne parametry wyznaczone zostały w oparciu o statystyczną próbę zginania oraz badanie twardości metodą Vickersa.

2. METODYKA BADAŃ

Pierwszym etapem było przygotowanie materiału biologicznego do badań. Wykorzystano 45 próbek zwierzęcych pobranych wzdłużnie po 15 od każdego gatunku: wołowe, cielęce, wieprzowe. Przed procesem obróbki zostały ustalone końcowe wymiary próbek: 60 [mm] x 10 [mm] x 4 [mm]. Podczas preparowania kości do badania zastosowano następujący schemat postępowania: oczyszczenie kości z pozostałości tkanek miękkich, obcinanie nasad kości, oczyszczanie kości ze szpiku, podział trzonu na części (z uwzględnieniem zaplanowanych wymiarów próbek), podział trzonu na krążki o jednakowej długości (z naddatkiem ok. 10 mm), z których podczas późniejszego etapu zostały wycięte próbki do badań. Planując obszary z których wycięto próbki starano się unikać tych, które posiadały naturalne osłabienia lub krzywizny powierzchni uniemożliwiające późniejsze przeprowadzenie badań. Wszystkie wycięte próbki zostały poddane procesowi szlifowania, celem uzyskania zbliżonych wymiarów dla każdej z nich. W kolejnym etapie próbki zostały oznakowane, ponumerowane oraz zważone i podzielone na grupy. Następnie poszczególne grupy próbek były odpowiednio przygotowywane do badań, tzn. poddane procesowi suszenia oraz moczenia w 0,9% roztworze soli fizjologicznej.

Wyróżniono 5 serii próbek: próbki przebadane zaraz po pobraniu (oznaczone w wynikach jako „świeże”), próbki poddane procesowi suszenia przez 10 dni (oznaczone w wynikach jako „suszone10”), próbki poddane procesowi suszenia przez 30 dni (suszone30), próbki, które po 10-dniowym okresie suszenia zostały moczone przez 24 godziny w 0,9% roztworze soli fizjologicznej (moczone10) oraz próbki, które po 30-dniowym okresie suszenia zostały moczone przez 24 godziny w 0,9% roztworze soli fizjologicznej (moczone30). Następnie dla poszczególnych grup wyznaczono własności mechaniczne w oparciu o statystyczną próbę zginania jak również wyznaczono twardość analizowanego materiału biologicznego metodą Vickersa.



Rys. 2. Przygotowane i opisane próbki do badań; od lewej: wołowe, cielęce, wieprzowe

Przygotowane grupy próbek poddane zostały statycznej próbie zginania, która przeprowadzona została na maszynie MTS Insight 50 z prędkością obciążania 2 mm/min. Próbki zamocowane były w maszynie w sposób pokazany na rysunku 3, a rozstaw podpór wynosił 24 mm. Badania przeprowadzone były w warunkach pokojowych tj. temperaturze 22°C i wilgotności powietrza: 60%. W wyniku komputerowej rejestracji danych otrzymano wykres zależności siły gnącej P[N] od strzałki ugięcia f [mm].

Badanie twardości kości metodą Vickersa przeprowadzone zostało na maszynie WPM, przy obciążeniu 49 [N] i czasie obciążenia 20 sek. Pomiar wykonywany był w takich samych warunkach temperatury i wilgotności powietrza.



Rys. 3. Próbka wołowa zamocowana w maszynie wytrzymałościowej MTS Insight 50



Rys. 4. Próbka cielęca zamocowana w maszynie do badania twardości metodą Vickersa

3. WYNIKI

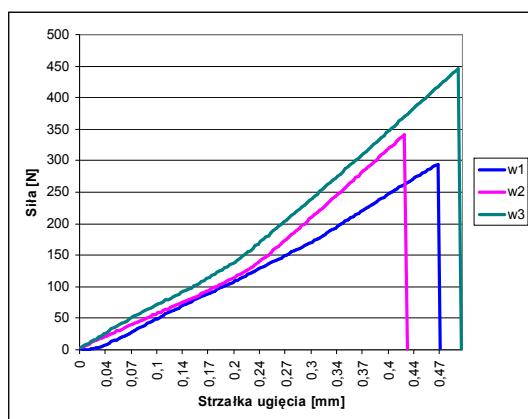
Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań zostały pogrupowane, porównane i przedstawione w formie tabel i wykresów.

Wyznaczona została średnia waga dla świeżych próbek wołowych, cielęcych i wieprzowych a następnie różnica (przyrost/spadek) wagi jaki wykazały próbki z tych kości po 10 i 30 dniach suszenia oraz po moczeniu w 0,9% roztworze soli fizjologicznej. Przedstawiona w tabeli 2 zmiana wagi dla kości suszonych i moczonych odnosi się do średniej wagi początkowej (tj. wagi próbek świeżych).

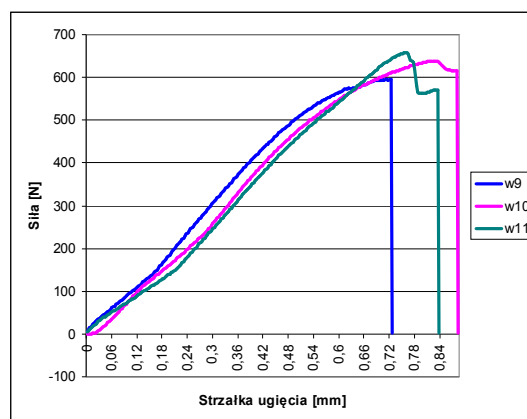
Tab. 2. Wartości wagi oraz jej zmiany dla poszczególnych grup próbek

rodzaj próbki	średnia waga dla próbek świeżych [g]	spadek średniej wagi dla próbek suchych10	spadek średniej wagi dla próbek suchych30	przyrost średniej wagi dla próbek moczonych10	przyrost średniej wagi dla próbek moczonych30
wołowe	3,83	-0,075	-0,093	+0,070	+0,050
cielęce	3,94	-0,123	-0,151	+0,180	+0,118
wieprzowe	3,37	-0,114	-0,126	+0,187	+0,106

Zależność siły od strzałki ugięcia uzyskaną w wyniku przeprowadzonej statycznej próby zginania przedstawiono w formie wykresu zbiorczego dla danej grupy próbek (rys.5, rys.6).



Rys. 5 Przykładowy wykres zbiorczy P(f) dla próbek wołowych suszonych 30 dni.



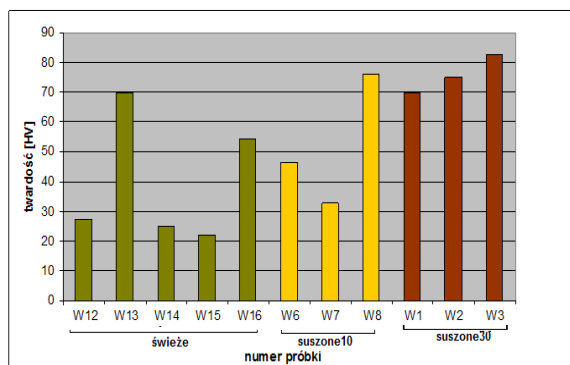
Rys. 6 Przykładowy wykres zbiorczy P(f) dla próbek wołowych moczonych po 10 dniach suszenia.

Dla poszczególnych grup próbek obliczono średnią wartość siły niszczonej P [N], średnią strzałkę ugięcia f [mm] przy sile niszczonej, średnią wartość energii przy zniszczeniu [J] oraz średnią wartość twardości uzyskanej po trzykrotnie wykonanym pomiarze w metodzie Vickersa. Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

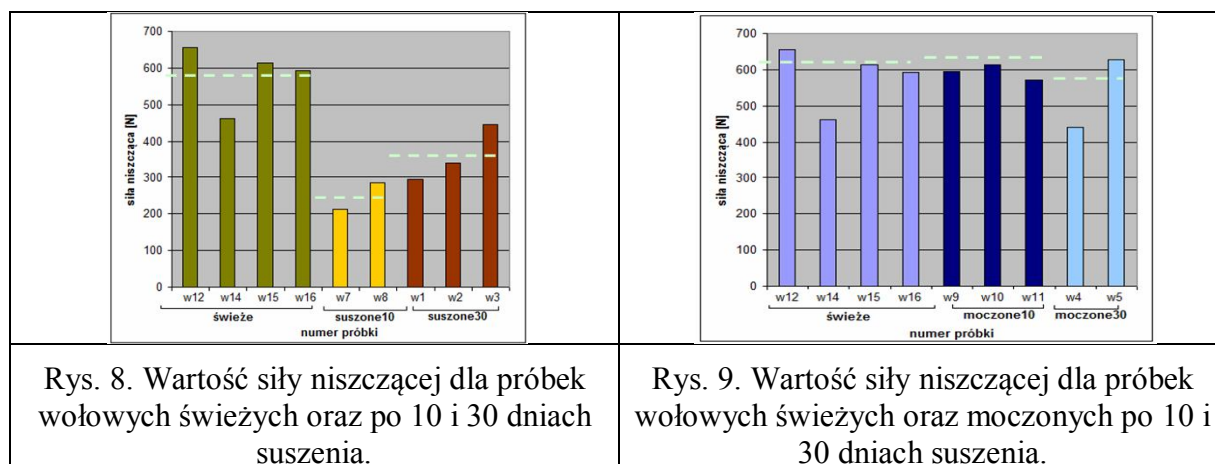
W oparciu o otrzymane wartości siły niszczonej P [N], strzałki ugięcia f [mm] przy zniszczeniu oraz energii [J] przy zniszczeniu, zostały opracowane wykresy słupkowe (przykładowe wykresy przedstawione na rysunkach 7 – 9) prezentujące rezultaty dla poszczególnych typów próbek. Za pomocą przerywanej linii na wykresach zaznaczono średnie wartości dla poszczególnych grup próbek.

Tab. 3 Tabela zbiorcza dla wykonanych pomiarów.

rodzaj próbki	średnia siła niszczone [N]	średnia strzałka ugięcia [mm]	średnia energia [J]	średnia twardość
wołowe świeże	581	0,35	2,04	39,69
wołowe suszone10	248	0,52	1,21	51,69
wołowe suszone30	361	0,46	1,67	75,90
wołowe moczone10	593	0,82	4,84	34,04
wołowe moczone30	534	0,79	4,22	48,64
cielęce świeże	726	0,88	6,60	30,94
cielęce suszone10	526	0,45	2,27	38,64
cielęce suszone30	541	0,55	3,15	50,01
cielęce moczone10	454	1,26	5,44	21,48
cielęce moczone30	655	1,66	11,29	25,62
wieprzowe świeże	287	0,57	1,94	23,99
wieprzowe suszone10	476	0,44	2,21	38,54
wieprzowe suszone30	356	0,46	1,79	45,77
wieprzowe moczone10	427	0,96	3,90	30,17
wieprzowe moczone30	610	0,82	5,06	-



Rys. 7. Wartość twardości dla próbek wołowych: świeżych, po 10 dniach suszenia oraz po 30 dniach suszenia.



Rys. 8. Wartość siły niszczącej dla próbek wołowych świeżych oraz po 10 i 30 dniach suszenia.

Rys. 9. Wartość siły niszczącej dla próbek wołowych świeżych oraz moczonych po 10 i 30 dniach suszenia.

4. WNIOSKI

W oparciu o otrzymane rezultaty stwierdzono, że na wyniki przeprowadzonych prób wpływa przygotowanie próbki, rodzaj materiału (gatunek zwierzęcia i jego wiek) oraz warunki przechowywania.

Wykazano również, że zmiana wagi próbek po suszeniu oraz moczeniu do wagi początkowej jest nieznaczna. Dla próbek inkubowanych w roztworze soli fizjologicznej wzrasta średnia wartość strzałki ugięcia przy sile niszczącej P [N]. Wraz ze wzrostem czasu suszenia preparatu wzrasta jego twardość. Przy wzroście wartości twardości maleje strzałka ugięcia f [mm] przy sile niszczącej.

Ponadto próbki pobrane od młodych osobników (cielak, wieprz) wykazały wyższą oscylację masy zależną od warunków przechowywania, ulegają zniszczeniu przy wyższej sile jak również wykazują większe wartości średniej strzałki ugięcia f [mm] przy zniszczeniu.

5. LITERATURA

- [1] Będziński R.: Biomechanika inżynierska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997,
- [2] Brant W., Helms C., Podstawy diagnostyki radiologicznej. Wydanie polskie., MediPage, Warszawa 2006, s. 3-14
- [3] Gaynor Evans F., Relation of collagen fiber orientation to some mechanical properties of human cortical bone, J. Biomechanics, vol.2
- [4] Ma Zehn Cuo, Zhou Shu Xia, Liu Bao Lin, The mechanical and biological properties of demineralised cortical bone allografts in animals., The journal of bone and joint surgery, Vol. 73-B, No 5, september 1991

-
- [5] Pearce A.I., Richards R.G., Milz S., Schneider E., Pearce S.G, Animal models from implant biomaterial research in bone: a review., *European Cells and Materials* Vol. 13.2007, s. 1-10
- [6] Viladot Voeggeli A., *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor*, Springer, s. 41-51

**STUDY THE CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES
OF ANIMAL BONES, DEPENDING ON THE DEGREE OF
HYDRATION OF THE SAMPLE**