

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH KOŚCI WOŁOWYCH I WIEPRZOWYCH

ANITA KAJZER^{1*}, WOJCIECH KAJZER¹, MARCIN BASIAGA¹, ELŻBIETA KUNA²

¹ KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I INŻYNIERII WYROBÓW MEDYCZNYCH, WYDZIAŁ INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ, POLITECHNIKA ŚLĄSKA,

UL. GEN. CHARLESA DE GAULLE'A 72, 44-800 ZABRZE

² STUDENCKIE KOŁO NAUKOWE INŻYNIERII BIOMATERIAŁÓW

„SYNERGIA”, KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I INŻYNIERII

WYROBÓW MEDYCZNYCH, POLITECHNIKA ŚLĄSKA,

UL. GEN. CHARLESA DE GAULLE'A 72, 44-800 ZABRZE

* E-MAIL: ANITA.KAJZER@POLSL.PL

Streszczenie

Celem prowadzonych badań było określenie własności wytrzymałościowych wieprzowych i wołowych kości udowych. Wartości te są niezbędne w numerycznych i doświadczalnych analizach układu kość – implant, które przeprowadza się podczas projektowania ich nowych postaci konstrukcyjnych. W ostatnich latach implanty stosowane są do leczenia złamań kości nie tylko u ludzi, ale coraz częściej u zwierząt. Dlatego też wiedza dotycząca własności wytrzymałościowych kości umożliwia optymalny dobór własności biomateriału metalowego oraz implantu w celu zapewnienia prawidłowej stabilizacji zrostu kostnego. W warunkach fizjologicznych na kości udowe najczęściej działają siły ściskające i zginające, z tego względu w pracy przedstawiono wyniki jednoosiowej próby ściskania i trójpunktowego zginania próbek pobranych z kości o różnej wilgotności. Do badań wytypowano 3 grupy próbek: I – próbki świeże, II – próbki suszone przez 24 dni i III – próbki suszone przez 30 dni. W wyniku przeprowadzonych prób wyznaczono wartości modułu Younga, wytrzymałości na ściskanie i zginanie próbek ze wszystkich grup badawczych. Na podstawie uzyskanych wyników i analiz literaturowych stwierdzono, że największymi wartościami własności wytrzymałościowych charakteryzują się kości zwierząt o większej masie. Dla zwierząt o kościach długich mniejszym można więc zastosować implant o mniejszym umocnieniu, a tym samym mniejszej sztywności. Przeprowadzone badania stanowią pierwszy etap analiz i w dalszym etapie zostaną uzupełnione i rozszerzone o kolejne badania wytrzymałościowe w tym twardości próbek po kontrolowanym sposobie i czasie suszenia.

Słowa kluczowe: kości zwierzęce, badania wytrzymałościowe, własności mechaniczne

[Inżynieria Biomateriałów 119 (2013) 45-50]

STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF OX AND PIG BONES

ANITA KAJZER^{1*}, WOJCIECH KAJZER¹, MARCIN BASIAGA¹, ELŻBIETA KUNA²

¹ DEPARTMENT OF BIOMATERIALS AND MEDICAL DEVICES ENGINEERING, FACULTY OF BIOMEDICAL ENGINEERING, SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,

UL. GEN. CHARLESA DE GAULLE'A 72, 44-800 ZABRZE, POLAND

² STUDENTS' SCIENTIFIC SOCIETY OF BIOMEDICAL ENGINEERING

„SYNERGIA”, FACULTY OF BIOMEDICAL ENGINEERING,

SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,

UL. GEN. CHARLESA DE GAULLE'A 72, 44-800 ZABRZE, POLAND

* E-MAIL: ANITA.KAJZER@POLSL.PL

Abstract

The aim of this study was to determine the mechanical properties of pig and ox femoral bones. Those values are necessary for numerical and experimental analyses of the bone-implant system, conducted during designing new structural solutions for the system. In recent years implants have been used not only to treat bone fractures in humans, but also, increasingly often, in animals. Therefore, knowledge of mechanical properties of bones allows for optimal selection of the metallic biomaterial and the implant properties in order to provide adequate stabilisation for the bone union. In physiological conditions, femoral bones are usually subjected to compressive and bending forces, therefore, the paper presents the results of a uniaxial compressive test and a three-point bending test on the samples obtained from bones with different moisture content. Three groups of samples were selected for the research: I – fresh samples, II – samples dried for 24 days and III – samples dried for 30 days. As a result of the tests conducted, Young's modulus values were determined, as well as ultimate compressive strength and bending strength for the samples from all the groups tested. On the basis of the results and literature data it was concluded that the highest values of mechanical properties are revealed in the bones of animals with higher mass. For animals with smaller long bones an implant with less reinforcement, therefore less rigid, can be used. The tests conducted constitute the first stage of analysis, and at future stages they will be supplemented with and extended by further tests on the mechanical properties, including hardness of the samples after drying with the use of a controlled method and time.

Keywords: animal bones, mechanical test, mechanical properties

[Engineering of Biomaterials 119 (2013) 45-50]

W ostatnich latach zaznacza się wzrost liczby urazów w obrębie układu kostnego. Do leczenia złamań stosowane są implanty odpowiednio dostosowane pod względem geometrii oraz własności mechanicznych i fizykochemicznych powierzchni do rodzaju kości i typu złamania. Wprowadzając nowe postaci implantów o zmodyfikowanym składzie chemicznym biomateriału oraz własnościach fizykochemicznych powierzchni zaleca się przeprowadzenie zgodnie z zaleceniami normy „Biologiczna ocena wyrobów medycznych” PN-EN ISO10993-1 badań przedklinicznych „in vivo” na organizmach zwierzęcych [1]. Badania te przeprowadza się na dwóch grupach zwierząt - z implantami i bez, jako grupie kontrolnej. Badania powinny być prowadzone w porównywalnych warunkach z wykorzystaniem zwierząt tego samego gatunku, płci, wieku i w porównywalnych miejscach anatomicznych. Czas badania musi być dostosowany do przewidywanego okresu uzyskania wiarygodnej i powtarzalnej reakcji wokół tkanek implantu. Uzyskanie pozytywnych wyników badań na zwierzętach umożliwia przeprowadzenie badań klinicznych na wytypowanej grupie pacjentów. Prowadzone są również badania nowych postaci konstrukcyjnych w układzie zwierzęca tkanka kostna – implant w celu wyznaczenia charakterystyk biomechanicznych, a następnie optymalizacji cech wymiarowych, jak również własności mechanicznych biomateriału [2,3].

Zastosowanie implantów do leczenia złamań kości zwierzęcych wymaga także doboru cech konstrukcyjnych stabilizatora, jak i własności mechanicznych biomateriału. Coraz częściej złamania kończyn koni, psów, kotów czy królików stabilizuje się implantami wytwarzanymi z biomateriałów metalowych [4-7]. Wprowadzenie implantu do zespolenia odłamów kostnych powoduje, że najczęściej przejmuje on całość przenoszonych obciążeń. Z kolei niedociążenie kości powoduje powstanie procesu osteolizy. Dlatego też bardzo istotne jest dopasowanie odpowiednich własności mechanicznych implantu do własności danej struktury kostnej [8-10].

W dostępnej literaturze temat dotyczący oceny własności mechanicznych kości zwierzęcych jest rzadko podejmowany. Dlatego też według autorów celowym wydaje się przeprowadzenie badań wytrzymałościowych kości w celu doboru optymalnych własności biomateriału metalowego stosowanego na implanty do leczenia złamań kości zwierzęcych, jak również poszukiwanie zwierzęcia o własnościach kości, w jak największym stopniu zbliżonych do własności tkanki kostnej ludzkiej. Wyniki uzyskanych badań, mogą posłużyć jako dane do numerycznych i doświadczalnych analiz układu kość – implant na etapie projektowania i optymalizacji cech geometrycznych oraz materiałowych wszczepu, a w dalszej kolejności jego wytworzenia i badania przedklinicznego prowadzonego na zwierzętach.

Materiały i metody

Do badań wytypowano wołowe oraz wieprzowe kości udowe, które poddano mechanicznemu oczyszczaniu z tkanek miękkich, a następnie zdezynfekowano powierzchniowo alkoholem. Przed przystąpieniem do badań przy użyciu przecinarki precyzyjnej firmy Struers Secotom-15, przynasady kości odcięto i przygotowano próbki ze środkowej części trzonu w kierunku wzdłużnym (RYS. 1). Materiał podzielono na trzy grupy pomiarowe: I – próbki z kości świeżej, II – próbki z kości suszonej przez 24 dni oraz III – próbki z kości suszonej przez 30 dni. Badania podzielono na kilka etapów. Pierwszym z nich było przygotowanie próbek do próby jednoosiowego ściskania o średnich wymiarach 10 x 4 x 4 mm (18 próbek) i do próby trójpunktowego zginania o wymiarach 40 x 10 x 2 mm (12 próbek).

Introduction

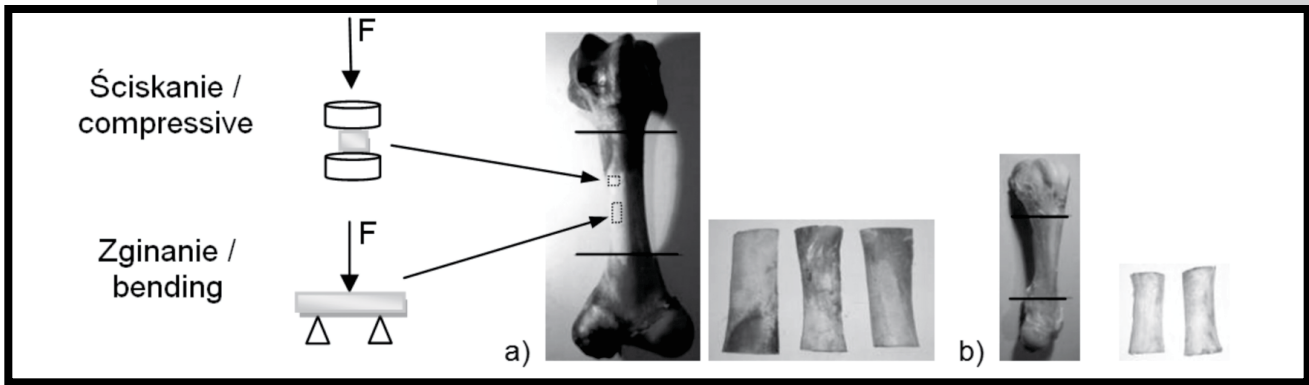
In recent years an increase in skeletal systems injuries has been observed. For the treatment of fractures implants are used, adequately selected for a given type of bone and fracture, considering geometry, as well as mechanical, physical and chemical properties of the surface. Introducing new forms of implants which contain biomaterial with modified chemical composition and physical and chemical properties of the surface, it is recommended to conduct an in vivo pre-clinical study on animal organisms, according to the PN-EN ISO10993-1 “Biological assessment of medical devices” standard [1]. Such study involves two groups of animals - with and without the implant, the latter being a control group. The study should be conducted in comparable conditions, using animals of the same species, sex and age, and in comparable anatomic sites. The length of the study needs to be adjusted to the expected time of reliable and replicable reaction around the implant site tissue. Positive animal study results enable conducting a clinical study involving a chosen group of patients. Studies on new structural solutions in the animal bone tissue-implant system are carried out, in order to determine the biomechanical characterisations, and, consequently, to optimise the dimensional characteristics, as well as the mechanical properties of biomaterial [2,3].

Using implants in the treatment of animal bone fractures requires also selecting adequate structural characteristics of the stabiliser, as well as the mechanical properties of biomaterial. Increasingly often limb fractures in horses, dogs, cats or rabbits are stabilised with implants made of metallic biomaterials [4-7]. Introducing the implant in the anastomosis of bone fragments usually results in transmission of all the loading forces to the implant. On the other hand, insufficient loading leads to the process of osteolysis. Thus the choice of adequate mechanical properties of the implant, adjusted to the characteristics of a given bone structure, is essential [8-10].

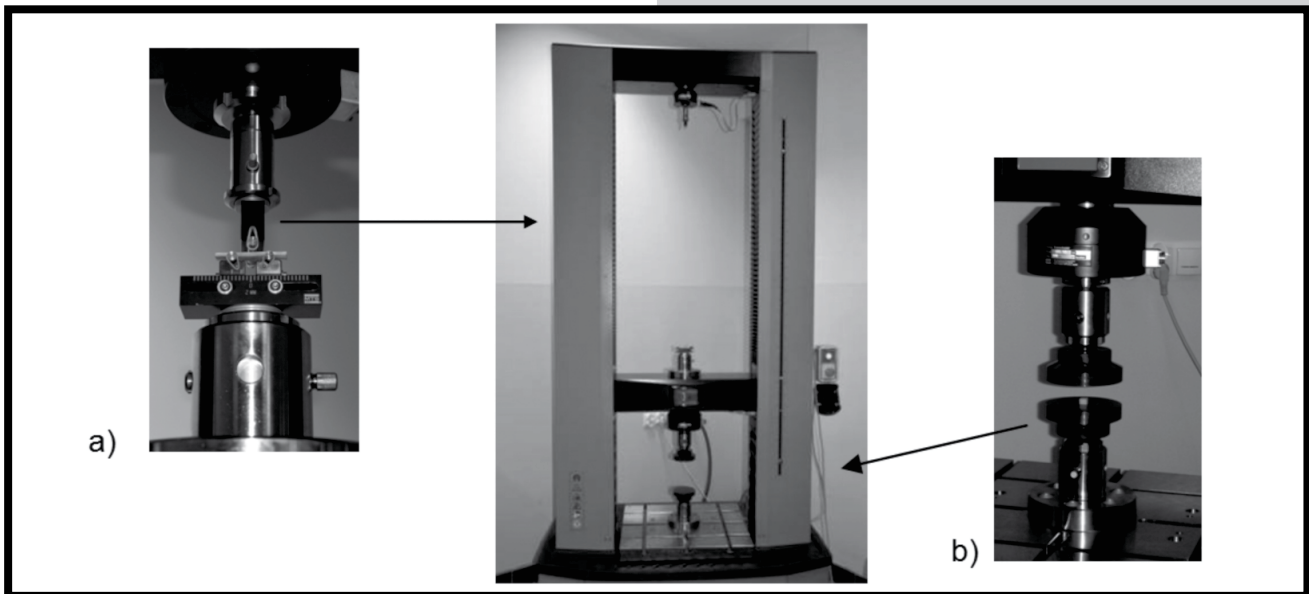
The assessment of mechanical properties of animal bones is rarely present in the available literature. Therefore, the authors believe it is expedient to conduct a study testing mechanical properties of bones, in order to select optimal characteristics of the metallic biomaterial used to make implants for the treatment of animal bone fractures, and also to find an animal whose bone properties closely resemble those of a human bone tissue. The test results can be used for numerical and experimental analyses of the bone-implant system during design and optimisation of the geometrical and material-related characteristics of the implant, as well as at the subsequent stages of its manufacturing and the pre-clinical study on animals.

Materials and Methods

Bones selected for testing were the ox and pig femoral bones, mechanically cleaned from the soft tissue, and surface disinfected with alcohol. Before testing, the metaphysis of each bone was cut off with the use of a precise cutting-off machine by Struers Secotom-15, and samples were prepared from the central part of the stem in longitudinal direction (FIG. 1). The material was divided into three measurement groups: I – fresh bone samples, II – samples from bone dried for 24 days and III – samples from bone dried for 30 days. The study was divided into stages. The first one involved preparing the samples for uniaxial compressive test, whose average dimensions were 10 x 4 x 4 mm (18 samples), whereas for the three-point bending test the dimensions were 40 x 10 x 2 mm (12 samples).



RYS. 1. Materiał do badań: a) kość wołowa, b) kość wieprzowa - linie ciągłe przedstawiają miejsca odcięcia nasad.
FIG. 1. Research material: a) ox bone, b) pig bone – the continuous lines present where the metaphysis were cut off.



RYS. 2. Stanowisko pomiarowe: maszyna wytrzymałościowa MTS Criterion: a) strefa zginania, b) strefa ściskania.
FIG. 2. Test station: MTS Criterion testing machine: a) bending area, b) compression area.

W drugim etapie badań wyznaczano własności mechaniczne kości. Badania przeprowadzono na stanowisku pomiarowym zawierającym maszynę wytrzymałościową MTS Criterion, model 45. Ściskanie realizowano w części dolnej maszyny, natomiast zginanie w części górnej (RYS. 2). Całość zintegrowana była z komputerem, na którym zainstalowano program MTS TestSuite, dzięki któremu dla każdej z próbek uzyskano charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe. Próbkę do badań były ściskane i zginane z prędkością 4 mm/min. Próby przeprowadzono w temperaturze pokojowej do momentu pęknięcia materiału.

W przeprowadzonych badaniach wyznaczono wartości wytrzymałości na ściskanie R_c i zginanie R_g oraz moduły Younga (E_c i E_g) dla maksymalnych obciążeń.

Wyniki i dyskusja

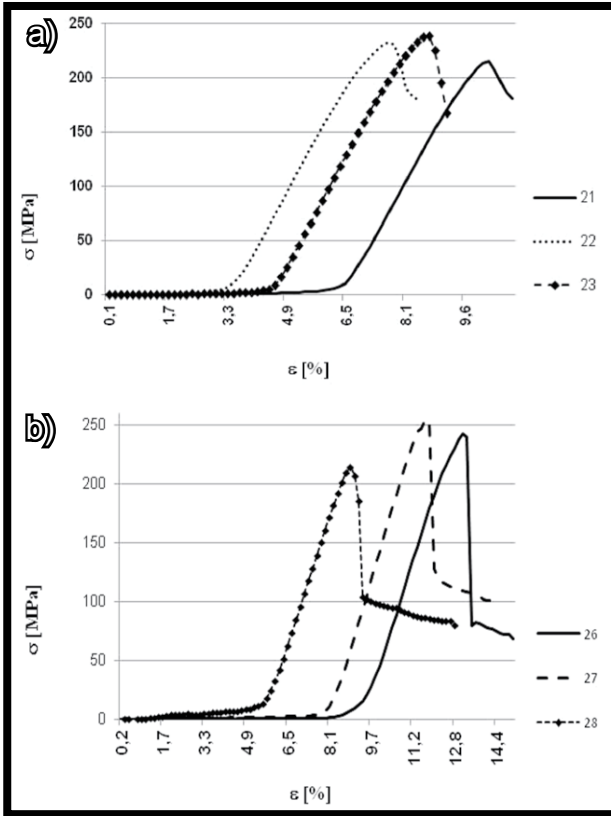
Dla wszystkich badanych próbek uzyskano charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe (RYS. 3 i 5). Na podstawie otrzymanych wartości naprężeń wszystkich próbek obliczono średnie wartości wytrzymałości na ściskanie $R_{cśr}$, zginanie $R_{gśr}$ oraz moduły Younga $E_{cśr}$ oraz $E_{gśr}$. (TABELA 1 i 2). Wartości te uzyskano z trzech badań dla każdej z grupy w próbie jednoosiowego ściskania i dwóch badań w próbie trójpunktowego zginania.

In the second stage of the study the mechanical properties of bones were determined. The tests were conducted in a test station equipped with a MTS Criterion, model 45 testing machine. Compression took place in the lower part of the machine, whereas bending in the upper part (FIG. 2). Everything was integrated with a computer equipped with MTS TestSuite software, which enabled establishing of strain and stress characteristics for each sample. The tested samples were compressed and bent with the speed of 4 mm/min. The testing was conducted at room temperature until the material broke.

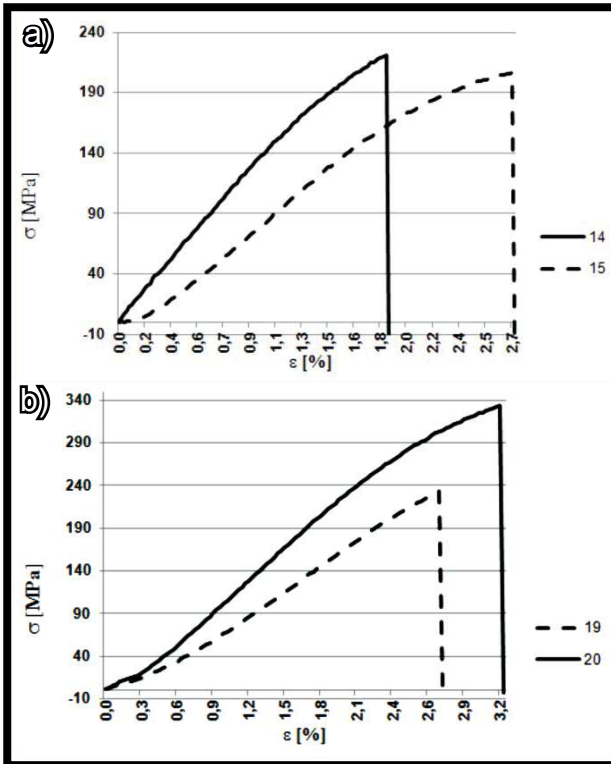
As a result of the tests, values for compressive strength R_c , bending strength R_g and Young's modulus (E_c and E_g) were found. The strength values were defined by maximum load whereas bone deformation was measured from the machine crosshead displacement.

Results and Discussions

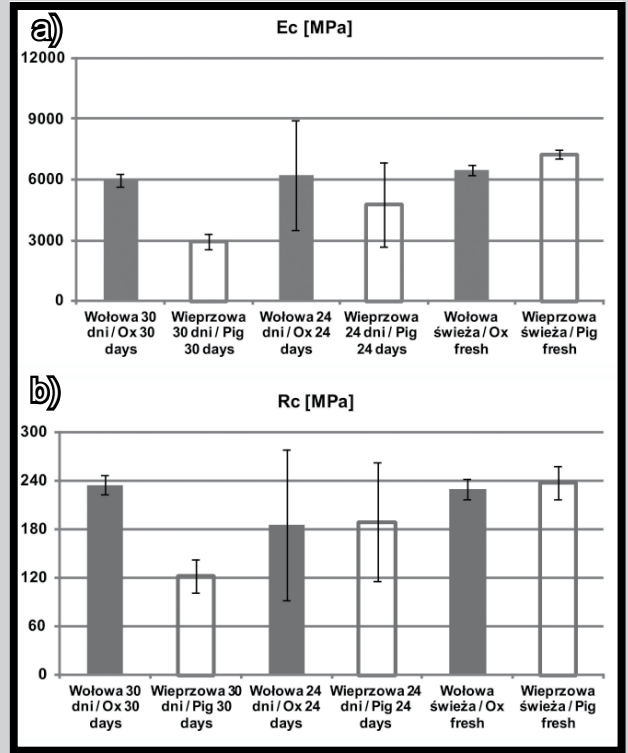
Strain and stress characteristics were received for all the samples tested (FIG. 3 and 5). On the basis of stress values for all the samples mean compressive (R_{cm}) and bending (R_{gm}) strength values were calculated, as well as Young's modulus E_{cm} and E_{gm} (TABLE 1 and 2). The values were received as a result of three uniaxial compression tests, and two three-point bending tests for each group.



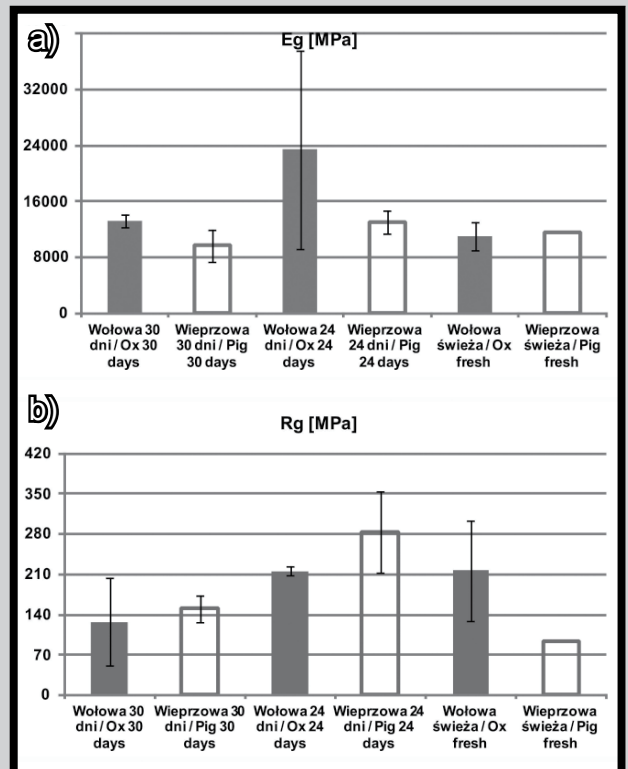
RYS. 3. Przykładowe charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe (próba ściskania): a) kość wołowa, b) kość wieprzowa.
 Fig. 3. Examples of strain and stress characteristics (compression test): a) ox bone, b) pig bone.



RYS. 5. Przykładowe charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe (próba zginania): a) kość wołowa, b) kość wieprzowa.
 FIG. 5. Examples of strain and stress characteristics (bending test): a) ox bone, b) pig bone.



RYS. 4. Porównanie wartości modułu Younga E_{csr} (próba ściskania) - a), i wytrzymałości na ściskanie R_{csr} - b) kości wołowych i wieprzowych.
 FIG. 4. Comparison of values – Young's modulus E_{cm} (compression test) - a) and compressive strength R_{cm} - b) of ox and pig bones.



RYS. 6. Porównanie wartości modułu Younga E_{gsr} (próba zginania) - a), i wytrzymałości na zginanie R_{gsr} - b) kości wołowych i wieprzowych.
 FIG. 6. Comparison of values – Young's modulus E_{gm} (bending test) - a), and bending strength R_{gm} - b) of ox and pig bones.

TABELA. 1. Własności mechaniczne wyznaczone w próbie ściskania.
TABLE 1. Mechanical properties marked out in bending tests.

Nr No	Kość Bone	Czas suszenia Length of drying [dni / days]	Średnia wartość modułu Younga Young's Modulus $E_{cśr} / E_{cm}$ [MPa]	Odchylenie standardowe Standard deviation [MPa]	Średnia wartość wytrzymałości na ściskanie Compressive strength $R_{cśr} / R_{cm}$ [MPa]	Odchylenie standardowe Standard deviation [MPa]
1-3	Wołowa / Ox	30	5988	313	235	12
6-8	Wieprzowa / Pig	30	2922	370	122	21
11-13	Wołowa / Ox	24	6224	2735	185	93
16-18	Wieprzowa / Pig	24	4062	2071	189	73
21-23	Wołowa / Ox	Świeża / Fresh	6474	242	229	12
26-28	Wieprzowa / Pig	Świeża / Fresh	7278	224	237	20

TABELA 2. Własności mechaniczne wyznaczone w próbie zginania.
TABLE 2. Mechanical properties marked out in bending tests.

Nr No	Kość Bone	Czas suszenia Length of drying [dni / days]	Średnia wartość modułu Younga Young's modulus $E_{gśr} / E_{gm}$ [MPa]	Odchylenie standardowe Standard deviation [MPa]	Średnia wartość wytrzymałości na zginanie Bending strength $R_{gśr} / R_{gm}$ [MPa]	Odchylenie standardowe Standard deviation [MPa]
4-5	Wołowa / Ox	30	13287	864	127	75
9-10	Wieprzowa / Pig	30	9687	2256	150	23
14-15	Wołowa / Ox	24	23413	14174	216	7
19-20	Wieprzowa / Pig	24	13110	1600	284	70
24-25	Wołowa / Ox	Świeża / Fresh	10992	2008	216	86
29-30	Wieprzowa / Pig	Świeża / Fresh	11515	-	94	-

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że w większości przypadków kości wołowe charakteryzowały się prawie dwukrotnie większym modułem Younga w stosunku do kości wieprzowych w każdej z badanych grup. Największą średnią wartością modułu $E_{cśr}$ zaobserwowano dla kości świeżych, zarówno wieprzowych $E_{cśr} = 7278$ MPa, jak i wołowych $E_{cśr} = 6474$ MPa. Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie $R_{cśr}$ również były większe dla kości wołowych i malały wraz ze wzrostem czasu suszenia kości (RYS. 4 i 6). Uzyskane wyniki badań uzależnione są w dużym stopniu od sposobu przygotowania próbek. Ze względu na przenoszony większy ciężar ciała część korowa kości udowej wołu charakteryzuje się większą grubością niż część korowa kości wieprzowej. Dlatego też w tym przypadku łatwiej było uzyskać porównywalną geometrię próbek. W kościach wieprzowych część korowa jest znacznie cieńsza, co powodowało problemy w uzyskaniu geometrii próbek porównywalnej do kości udowych wołowych.

Próbie zginania dla kości wieprzowej świeżej przeprowadzono na jednej próbce. Uzyskane podczas próby wartości wytrzymałości na zginanie $R_{gśr}$ oraz modułu Younga $E_{gśr}$ kości wołowych i wieprzowych zmniejszały się wraz ze wzrostem czasu wysuszenia próbek. Średnia wytrzymałość na zginanie kości wołowych suszonych przez 30 dni $R_{gśr} = 127$ MPa i była około 58% mniejsza od wytrzymałości $R_{gśr} = 216$ MPa kości świeżych. Porównując wartości średnie dla poszczególnych grup próbek zauważono, że kości wieprzowe wykazują w większości przypadków większą wytrzymałość na zginanie niż kości wołowe. Średni moduł Younga $E_{gśr}$ dla wszystkich grup był większy niż moduł Younga $E_{cśr}$ uzyskany w próbie ściskania kości. Na przykład dla kości wołowej świeżej $E_{gśr} = 10992$ MPa, natomiast dla tej samej kości w próbie ściskania $E_{cśr} = 6474$ MPa. Wartości średniego modułu Younga dla obu rodzajów kości były do siebie zbliżone w grupach o tym samym stopniu wysuszenia.

Test results reveal that in most cases ox bones were characterised by nearly two times higher Young's modulus compared to pig bones in each of the groups tested. The highest average values for modulus E_{cm} were found with relation to fresh bones, both pig bones $E_{cm} = 7278$ MPa and ox bones $E_{cm} = 6474$ MPa. Mean values in compressive strength R_{cm} were also higher for ox bones, and were decreasing with the increase in the length of drying time (FIG. 4 and 6). The obtained test results are highly dependent on the method of sample preparation. Due to transmission of a greater body weight, cortical part of femur in oxen is wider than that of a pig. Therefore, in this case it was easier to obtain comparable geometry of samples. In pig bones the cortical part is much more narrow, which caused problems in obtaining geometry of samples comparable to that of ox femoral bones.

One bending test was performed on a fresh pig bone. The values for bending strength R_{gm} and for Young's modulus E_{gm} of ox and pig bones obtained as a result of the test were decreasing with the increase in the length of drying. Mean bending strength of the ox bones dried for 30 days $R_{gm} = 127$ MPa, and was ca. 58% lower than the bending strength $R_{gm} = 216$ MPa in fresh bones. Comparing mean values for different groups of samples it was found that pig bones in most cases reveal higher bending strength than ox bones. Mean Young's modulus E_{gm} for all the groups was higher than the Young's modulus E_{cm} observed in the compression test. For instance, for fresh ox bone $E_{gm} = 10992$ MPa, whereas for the same bone the compression test shows $E_{cm} = 6474$ MPa. Mean Young's modulus values for both types of bones were similar in groups with the same level of dryness.

Porównując własności wytrzymałościowe badanych kości zwierzęcych można stwierdzić, że wartości wytrzymałości na ściskanie i zginanie różnią się od własności ludzkiej kości udowej. Ich średnie wartości odpowiednio dla kości wieprzowych i wołowych świeżych, suszonych 24 dni i suszonych 30 dni przedstawiono w TABELACH 1 i 2 w porównaniu do wartości wytrzymałości na ściskanie $R_c = 159$ MPa i wytrzymałości na zginanie $R_g = 160$ MPa wysuszonej ludzkiej tkanki kostnej [10]. Jednoosiowe ściskanie kości udowych wieprzowych prowadzili również autorzy [11]. Dla tkanki zbitej trzonu kości udowej wyznaczyli wartość wytrzymałości na ściskanie około $R_c = 118$ MPa. Natomiast autorzy [11] na podstawie przeprowadzonej trójpunktowej próby zginania kości udowych szczurów wyznaczyli wartość modułu Younga $E = 3440$ MPa, co wskazuje na mniejsze wartości w stosunku do modułu Younga dla kości wołowych i wieprzowych – TABELA 2.

Wnioski

Na jakość i powtarzalność uzyskanych wyników badań miały wpływ: cechy osobnicze zwierzęcia, rodzaj kości, geometria próbek, miejsce ich pobrania oraz warunki ich przechowywania. Przeprowadzona analiza literatury w odniesieniu do prezentowanej pracy wskazuje na różnorodność przygotowania próbek pod względem ich geometrii, co sprawia trudność w bezpośrednim porównywaniu wyników uzyskanych przez różne zespoły badawcze. Jednakże można stwierdzić, że spośród analizowanych materiałów badawczych największe wartości własności wytrzymałościowych wykazują kości zwierząt o największej masie.

Przeprowadzane badania mają charakter wstępny. Na ich podstawie autorzy przeprowadzą kolejne serie badań wytrzymałościowych tkanki kostnej próbek o kontrolowanym sposobie i czasie suszenia. Dodatkowo, analizy zostaną uzupełnione wynikami pomiarów twardości preparatów kostnych.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków Centrum Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej.

Comparing mechanical properties of the tested animal bones revealed that their compressive and bending strength values differ from those of human femur. Their respective mean values, for fresh ox and pig bones, for bones dried for 24 days and those dried for 30 days were presented in TABLES 1 i 2 compared to the compressive strength value of $R_c = 159$ MPa, and the bending strength value of $R_g = 160$ MPa for dried human bone tissue [10]. Uniaxial compression of ox and pig femoral bones was conducted also by the authors [11]. The calculated value of compressive strength for dense tissue of the femoral stem is about $R_c = 118$ MPa. Whereas the authors [11] on the basis of conducted three-point bending test performed on the rat femurs determined the value of Young's modulus as $E = 3440$ MPa, which indicates lower values with respect to the Young's module for ox and pig bones – TABLE 2.

Conclusions

Quality and reproducibility of the study results was influenced by: animal's individual characteristics, type of bones, geometry of samples, the site they were obtained from, and storage conditions. The analysis of literature regarding this paper indicates variety of sample preparation methods considering their geometry, which complicates direct comparison of the results from different research teams. However, it has been found that among the analysed research materials, bones of animals with the higher mass have the higher mechanical properties values.

The conducted tests are preliminary. The authors will conduct further series of studies on mechanical properties of bone tissue dried using controlled method and time. Moreover, the analyses will be supplemented with the results of the bone preparation density.

Acknowledgments

The work was financially supported by the Center of Biomedical Engineering, Silesian University of Technology.

Piśmiennictwo

- [1] Norma PN-EN ISO 10993-1: Biologiczna ocena wyrobów medycznych. Ocena i badanie.
- [2] Gzik M., Wolański W., Tejszerska D.: Badania eksperymentalne sposobów mocowania śrub stabilizacji kręgosłupa. Modelowanie Inżynierskie. Gliwice (2009) 45-50.
- [3] Kiel M., Basiaga M., Szewczenko J., Kus W., Kokot G., Wadek T.: Numerical and experimental analysis of spine's transpedicular stabilizer. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 41(1-2) (2010) 124-130.
- [4] Kajzer A., Ordon J.: Surface Damage of Intramedullary Nails Used In Veterinary. Engineering of Biomaterials 96-98 (2010) 49-53.
- [5] Samsel J.: Osteosynteza kości nadgarstkowej III u koni pod kontrolą artroskopową. Życie Weterynaryjne 85(5) (2010) 440-444.
- [6] Samsel J.: Zachowawcze i operacyjne leczenie złamania kości promieniowej u dwóch dorosłych koni – opis przypadków klinicznych. Życie Weterynaryjne 88(5) (2013) 398-401.

References

- [7] Degórska B., Sterna J.: Protezowanie stawu biodrowego u psów, Życie Weterynaryjne 82(2) (2007) 110-113.
- [8] Sadowska J., Kromka-Szydek M.: Zmiany własności mechanicznych kości zwierzęcych w zależności od stopnia nawilżenia preparatu. Materiały Konferencyjne. Majówka Młodych Biomechaników (2012) 93-94.
- [9] Marciniak J.: Biomateriały w chirurgii kostnej, wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [10] Będziński R.: Biomechanika inżynierska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [11] Nikodem A., Dobrzański Z.: Influence of calcium content in feed phosphate on mechanical properties of bone tissue. Engineering of Biomaterials 109-111 (2011) 78-80.
- [12] Ritchie R.O., Koester K.J., Ionova S., Yao W., Lane N.E., Ager III J.W.: Measurement of the toughness of bone: A tutorial with special reference to small animal studies. Bone 43 (2008) 798-812.