

## BADANIE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH I HISTOMORFOMETRYCZNYCH TKANKI KOSTNEJ KOŚCI UDOWEJ CZŁOWIEKA

R. BĘDZIŃSKI\*, A. OSTROWSKA\*, K. ŚCIGAŁA\*, A. MAZURKIEWICZ\*\*

\*POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, UL. ŁUKASIEWICZA 7/9, 50-371 WROCŁAW

\*\*AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA, UL. KALISKIEGO 7, 85-763 BYDGOSZCZ

ANNA.OSTROWSKA@PWR.WROC.PL

[*Inżynieria Biomateriałów, 47-53,(2005),78-80*]

### Wprowadzenie i cel pracy

Staw biodrowy jest jednym z najbardziej obciążonych elementów naszego organizmu, dlatego też złamania kości udowej, nierzadko z przemieszczeniami, są jedną z najczęstszych przyczyn zgonów u osób starszych w krajach wysoko rozwiniętych. Z uwagi na ciągłe obciążenie przenoszone przez staw biodrowy, zgodnie z prawem Wolffa, przystosował on swoją budowę, zarówno zewnętrzną jak i wewnętrzną, do panujących obciążeń. Masa ciała przenoszona jest z miednicy na głowę kości udowej, w której układ beleczek kostnych dostosowuje się do trajektorii największych naprężeń.

Na podstawie obserwacji klinicznych stwierdzono, że zmiany w zakresie biomechaniki stawu biodrowego (szczególnie te związane z wiekiem), powodując zmiany w budowie kości mogą prowadzić do powstawania dysfunkcji stawu. Przykładem takiej adaptacji jest zmiana wartości kąta szyjko-trzonowego, który u osób młodych wynosi około 135° a wraz z wiekiem dochodzi do 90°. Zmiana tego kąta pociąga z kolei za sobą, zmianę kąta ułożenia beleczek kostnych w głowie kości udowej z 35° do 90°. Zmiany adaptacyjne, wywołane przystosowywaniem kości do panujących obciążeń, w stanach zaburzenia równowagi (przeciążenia) wraz z dodatkowymi czynnikami takimi jak wiek czy jakość kości prowadzić mogą do złamań. U osób w podeszłym wieku, najczęściej dochodzi do złamań krętarzowych, których główną przyczyną wydają się być: zrzesotnienie kości, utrata beleczkowania oraz zwiększenie jam szpikowych kosztem elementów strukturalnych, czyli zmiany związane z osteoporozą. Z drugiej strony do złamań kości udowej dochodzi bardzo często u osób z chorobą zwyrodnieniową, określaną jako zespół chorobowy, którego główną przyczyną jest dysproporcja pomiędzy obciążeniem a wytrzymałością mechaniczną chrząstki stawowej.

Zmiany w strukturze tkanki kostnej prowadzą do zmian jej parametrów mechanicznych i dlatego w pracy podjęto się próby znalezienia relacji pomiędzy właściwościami strukturalnymi a mechanicznymi. Do realizacji celu wykorzystano nowoczesne techniki pomiarowe takie jak: mikroskopia skaningowa czy mikrotomografia rentgenowska.

### Material i metoda

Z uwagi na fakt, że najczęstszymi przyczynami złamań kości udowej są osteoporoza i choroba zwyrodnieniowa kości, przedmiot badań stanowiły preparaty pochodzące od osób, u których doszło do złamań z tego powodu. Dodatkowo, trzecią grupę, referencyjną, stanowiły preparaty sek-

## THE INVESTIGATIONS OF MECHANICAL AND HISTOMORPHOMETRIC PROPERTIES OF HUMAN FEMUR CANCELLOUS BONE

R. BĘDZIŃSKI\*, A. OSTROWSKA\*, K. ŚCIGAŁA\*, A. MAZURKIEWICZ\*\*

\*POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, UL. ŁUKASIEWICZA 7/9, 50-371 WROCŁAW

\*\*AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA, UL. KALISKIEGO 7, 85-763 BYDGOSZCZ

ANNA.OSTROWSKA@PWR.WROC.PL

[*Engineering of Biomaterials, 47-53,(2005),78-80*]

### Introduction and purpose of study

The hip is one of the most loaded element in the human body. Hip fracture is a serious condition that has been found to increase morbidity and mortality to elderly men and women, especially community-dwelling ones. Nowadays etiological factors should be known better if one wants to recognize the individuals at high risk. Also, the treatment of displaced femoral neck fractures has been controversial, and the factors leading to a functional outcome are not known well. It has also been postulated that the etiologies of the two main hip fracture types, femoral neck and trochanteric fractures, are different. Knowledge of these differences would also help us to improve the prevention of hip fracture. According to Wolff's law, the permanent loaded hip is well-motivated and adapts his inner and outer architecture to the environment. The body mass, is transferred through the pelvis to femur bone, where the trabeculae align along stress trajectories. This theorem has the important corollary that affects architecture of cancellous bone and determines its mechanical properties.

Based on clinical observation it can be found that changes in biomechanical conditions of a hip (especially connected with age), which provoke the changes in architecture, can be caused by hip dysfunction. The example of functional adaptation is a change in the value of neck/shaft angle which varies from at average 135°, for young healthy people, to 90° for elder one. Eventually this alteration provoke the change in value of trabeculae direction angle from 35° to 90°. Decreased femoral shaft cortical thickness has been reported to predict trochanteric fractures, which is compatible with the different mechanisms of these fracture types. The etiopathology of the hip fracture is multifactorial, but there are three main causes that play an important role in the etiopathology of hip fractures: age, diseases and trauma. Bone loss affecting bone strength usually increases by aging. Loss of weight during aging affects the local shock absorbers, reducing especially muscles and increasing the risk of fracture after the fall. Other important principles are the mechanical properties of the material from which the structure is made and the location and direction of the loads to which the structure is subjected during service.

The purpose of this study was to investigate the relationships between the structural parameters of cancellous bone, to determine their correlation to the mechanical properties and to evaluate which parameters are important for maintaining bone strength and integrity.

cyjne nasady bliższej kości udowej pochodzące od osób, u których nie rozpoznano zmian chorobowych. Do określenia parametrów strukturalnych przygotowano cylindryczne próbki o średnicy 10mm i wysokości 8,5mm, które badano z użyciem mikrotomografii rentgenowskiej, uzyskując obrazy struktury kostnej z rozdzielczością 37mm. Następnie, za pomocą napisanego specjalnie do tego celu, w języku DELPHI, programu komputerowego HISTOMER, określono właściwości histomorfometryczne (parametry MIL oraz fabric elipsy) dla każdej z próbek. Do określenia właściwości mechanicznych takich jak: moduł Young'a czy wytrzymałość, w próbie ściskania jednoosiowego użyto maszyn wytrzymałościowych MTS 858 MiniBionix oraz MTS Synergie 100.

#### Właściwości histomorfometryczne

Anizotropia strukturalna może być mierzona przy użyciu metod pomiarowych opartych na stereologii, generujących jako rozwiązania: elipsę, elipsoidę lub odpowiednio dodatnie tensory drugorzędowe tekstury. W pracy wykorzystano, zaproponowaną w 1974 przez Whitehouse'a, metodę MIL (ang. mean intercept length - metoda "średniego odcinka długości"). Metoda ta opiera się na zliczaniu liczby

$$MIL = \frac{l_{\text{całk}}(\omega)}{n_{\text{przecięcia}}}$$

przecięć pomiędzy wprowadzaną siatką równoległych linii a granicą kość / wolna przestrzeń [4].

gdzie:  $l_{\text{całk}}$  - całkowita długość linii na przekroju

$\omega$  - kąt pomiaru

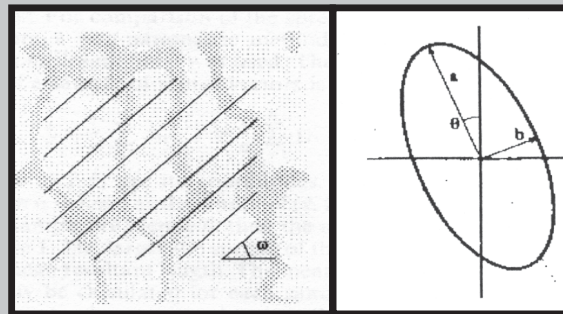
$n_{\text{przecięcia}}$  - liczba przecięć pomiędzy (porą a tkanką)

W pracy [1] Turner zauważył, że jeśli otrzymane wartości MIL, naniesiemy na biegunowy układ współrzędnych to otrzymamy elipsę (ang. fabric ellipse), której parametry są sposobem ilościowego opisu dwuwymiarowej anizotropii (wykreślenie elipsy pozwala na zobrazowanie istnienia "uprzywilejowanego" kierunku w danym przekroju).

## Material and methods

Because of the fact that the most frequent causes of hip fractures seems to be osteoporosis and coxarthrosis, our investigations were carried out on twelve human femur heads. The basic study series consisted of 4 human femur heads with coxartototal fracture, 4 heads with osteoporotical fracture and 4 heads from healthy people cases making a control group.

The size of bone cylindrical sample was 10x8,5 mm. To analyse bone structure 3D method like m-CT method was used. To determine histomorphometrical properties (MIL and fabric ellipse), the m-CT scans (with 37 mm resolution) and HISTOMER program were used. Strength tests using MTS MiniBionix and MTS Synergie 100 machines were also carried out to estimate the bone stress-strain characteristics, especially for determination values of Young's modulus and yield stress in compression.

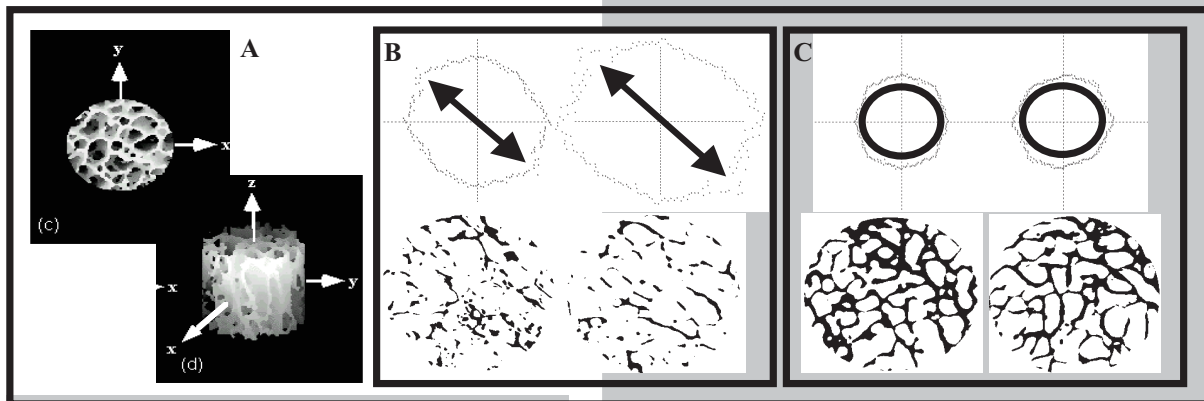


RYS. 1. Fabric ellipse, (C.H.Turner 1991) [4].

FIG. 1. Fabric ellipse, (C.H.Turner 1991) [4].

#### Histomorphometric properties

A complete representation of textural or structural anisotropy, according to Turner [1], using stereological methods involved an ellipse, an ellipsoid or fabric tensors.



RYS. 2 A). Rekonstrukcja obrazu otrzymanego za pomocą mikrotomografii rtg, B). Przykładowe skany i fabric ellipsy dla próbki osteoporotycznej (z zaznaczeniem uprzywilejowanego kierunku); C). Przykładowe skany i fabric ellipsy dla próbki coxarthrotycznej.

FIG. 2 A). The reconstruction of m-CT scan. B). The images and fabric ellipses for osteoporotic samples (with "preferential" direction); C) The images and fabric ellipses for coxarthrotic samples.

$$MIL = \frac{l_{\text{całk}}(\omega)}{n_{\text{przecięcia}}}$$

To measure structural anisotropy of cancellous bone we used MIL method proposed in 1974 by Whitehouse. Whitehouse measured the mean intercept length in cancellous bone as a function of direction on polished plane sections. The mean intercept length is the distance between two bone/marrow interfaces measured along line (FIG.1).

where:  $l_{\text{entire}}$  - entire section length

## Badanie właściwości mechanicznych

Analizując wykresy 3 i 4, na których przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych, możemy zaobserwować spadek wartości modułu Young'a (o 3,2%) oraz wytrzymałości na ściskanie (o 34%) w przypadku próbek z kości osteoporotycznej, w stosunku do grupy referencyjnej. Natomiast dla próbek coxartrotycznych obserwujemy wzrost tych wartości.

## Podsumowanie

Otrzymane wyniki, pozwalają na stwierdzenie, że struktura gąbczasta kości osteoporotycznej (RYS.2B) rozrzedza się, natomiast kości zwyrodnieniowej (RYS.2C) zagęszcza się, znajduje to swoje odzwierciedlenie w wynikach analizy wartości promieni fabryc elipsy dla poszczególnych próbek, w programie HISTOMER. Do podobnych wniosków prowadzą badania histologiczne próbek, a rezultaty te znajdują również potwierdzenie w otrzymanych wartościach parametrów mechanicznych.

Warto również podkreślić, że próbki z tkanki osteoporotycznej wykazują mocno uprzywilejowany kierunek, co może świadczyć o silnej anizotropii strukturalnej tkanki, i co może potwierdzać tezę Chang'a [2], która stanowi, iż właściwości gęstych kości mają charakter izotropowy, a te o mniejszej gęstości bardziej anizotropowy.

## Podziękowania

*Niniejsza praca stanowi część projektu badawczego No.5 T07A 032 25, finansowanego przez Ministra Nauki i Informatyzacji.*

## Piśmiennictwo

- [1] Turner C.H., Cowin S.C., Rho J.Y., Asman R.B., Rice J.C., "The fabric dependence of the orthotropic elastic constants of cancellous bone" J Biomech Vol. 23, (1990), pp.549-561.  
 [2] Chang W.C., et al., "Uniaxial Yield Strains for Bovine Trabecular Bone are Isotropic and Asymmetric" J Orthopaedic Research Vol.17, (1999), pp.582-585.

$\omega$  - angle

$n_{\text{intersection}}$  - the number of bone/marrow interfaces

Turner [1] pointed out that when the measured MIL values are plotted in a polar diagram as a function of the angle  $\omega$ , then this diagram has a shape of an ellipse. The parameters of this ellipse are the manner of two-dimensional anisotropy description (the ellipse draw presents an "preferential" direction on analysed section).

## Mechanical properties

Results of investigations carried out (fig. 3 and 4) shows a decrease in Young's modulus value (3,2%) and in compressive yield stress value (34%) for osteoporotic samples as compared to the reference samples. However, for coxartrotic samples we observe an increase of those values.

## Recapitulation

It can be seen from the figures 2B and 2C that the structure of cancellous bone rarefy (this is also shown by a fabric ellipse) while become dense for coxartrotic samples. Those observations was also confirmed by histological test that were carried. Moreover samples of cancellous bone appear to have highly "preferential" direction. This can be an evidence of the structural anisotropy of tissue and in this way confirm a Chang's theorem that properties of dense bones has an isotropic pattern while for rarefy bone this pattern is more anisotropic.

## Acknowledgements

*This work has been partially supported by the Minister of Science and Information Society Technologies. Project No.5 T07A 032 25.*

## References

- [3] Ostrowska A., Mazurkiewicz A., Topoliński T., "Statical strength of samples of trabecular bone in relations to the basic coefficients of architecture" 21st Symposium on Experimental Mechanics of Solids 13-16 October 2004 in Jachranka, Poland.  
 [4] Odgaard A., "Three-Dimensional Methods for quantification of cancellous bone architecture", Bone Vol.20(4), (1997), pp.315-328.