

**Elżbieta JAWORSKA, Katarzyna NIEMIEC**, Zakład Inżynierii Biomedycznej i Mechaniki Eksperymentalnej, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska

**Celina PEZOWICZ**, Zakład Inżynierii Biomedycznej i Mechaniki Eksperymentalnej, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska

## **ANALIZA SIŁY NISZCZĄCEJ PŁYTKI GRANICZNEJ KRĘGÓW**

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wyniki badań wybranych własności mechanicznych płytek granicznych kręgów pochodzących od 3 gatunków zwierząt (dzika, cielaka i kozy). Testy przeprowadzono na kręgach piersiowego i lędźwiowego odcinka kręgosłupa, zarówno dla górnej jak i dolnej powierzchni. Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych określono maksymalną siłę niszczącą oraz sztywność w zależności od odcinka kręgosłupa, położenia płytki granicznej oraz pochodzenia materiału badawczego.

### **1. WSTĘP**

Kręgosłup to kolumna stanowiąca podporę dla całego ciała człowieka. Z tego względu niezwykle ważna jest analiza właściwości mechanicznych jego elementów oraz parametrów mających wpływ na jego funkcjonowanie. Celem pracy jest dokładne wyznaczenie wybranych wielkości mechanicznych płytek granicznych kręgów, które biorą udział w przenoszeniu obciążeń osiowych, oraz co istotne zapobiegają wysoko hydrofobowej strukturze jądra miążdżystego uwypuklać się do przyległych kręgów.

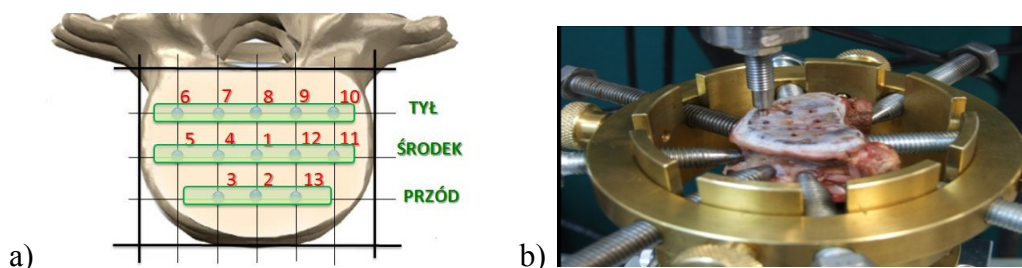
Ze względu na problemy z pozyskiwaniem materiału badawczego pochodzenia ludzkiego, coraz częściej poszukuje się modeli zwierzęcych najlepiej odwzorowujących właściwości mechaniczne i strukturalne poszczególnych elementów kręgosłupa [2,4,5], w tym także płytki granicznej kręgów.

### **2. METODYKA BADAŃ**

Badania zrealizowano na materiale pochodzenia zwierzęcego tj. cielaka (wiek 3 miesiące), dzika (wiek 6 lat) i kozy (wiek 3 lata) dla wybranych kręgów odcinka piersiowego (Th3, Th4, Th5, Th7, Th8, Th9) oraz odcinka lędźwiowego (L1, L2, L3, L4). Przebadano górne i dolne płytki graniczne wymienionych kręgów, z uwzględnieniem podziału na obszary badania: przód, środek i tył (rys. 1a) [3]. W sumie analizom poddano 60 płytek granicznych.

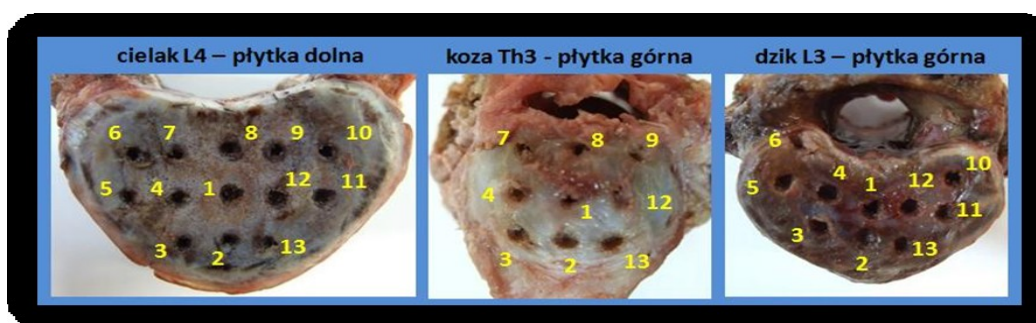
Przed wykonaniem badań wszystkie kręgi zostały oczyszczone z tkanki miękkiej pokrywającej powierzchnie trzonów. Tak przygotowany materiał badawczy był przechowywany w temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  do dnia poprzedzającego eksperyment.

Badania właściwości mechanicznych płytki granicznej zrealizowano przy pomocy maszyny wytrzymałościowej MTS 858 MiniBionix z wykorzystaniem metody intencji, półkulistym wglębniakiem (intenderem) o średnicy 3 mm (rys. 1b). Opierając się na danych literaturowych [4], przyjęto następujące parametry badania: prędkość zagłębiania 0,2 mm/s oraz maksymalne zagłębienie 3 mm.



Rys. 1. a) Schemat podziału płaszczyzny badania płytek granicznych  
b) płytka dolna kręgu cielęcego w trakcie testu intendancji

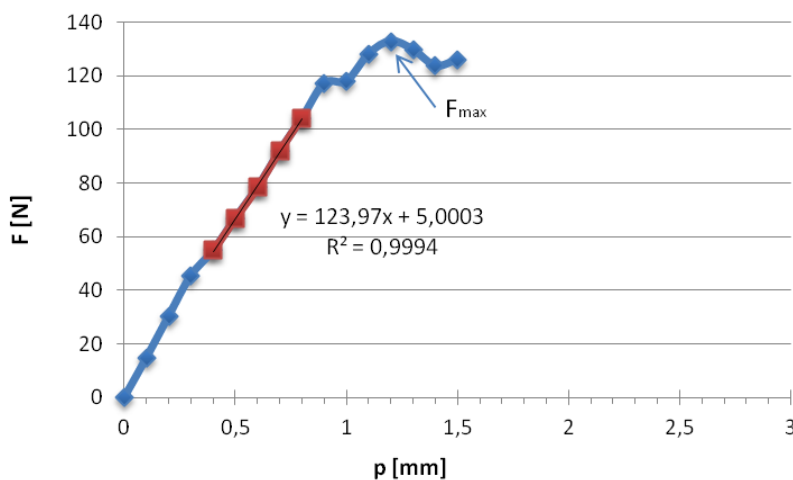
Na podstawie ustalonej mapy punktów dla każdej płytki granicznej wybrano kilka punktów pomiarowych, których liczba uzależniona była od budowy anatomicznej kręgow. Przykładowy rozkład punktów pomiarowych po zrealizowanym badaniu przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Przebadane próbki z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

### 3. WYNIKI BADAŃ

Otrzymane podczas badań dane zestawiono w formie wykresów obciążenia w funkcji przemieszczenia, indywidualnie dla każdego punktu testowanej płytki (rys. 3). Wyznaczono także sztywność, zdefiniowaną jako stosunek przyrostu siły do zmiany przemieszczenia w odcinku liniowym otrzymanej krzywej w zakresie od 30% do 70% jej wartości



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka siły w funkcji przemieszczenia dla górnej płytki kręgu lędźwiowego L3 w punkcie 12

Wyniki analizy właściwości mechanicznych płytek granicznych kręgów pozwoliły na wyznaczenie regionalnych różnic w zależności od:

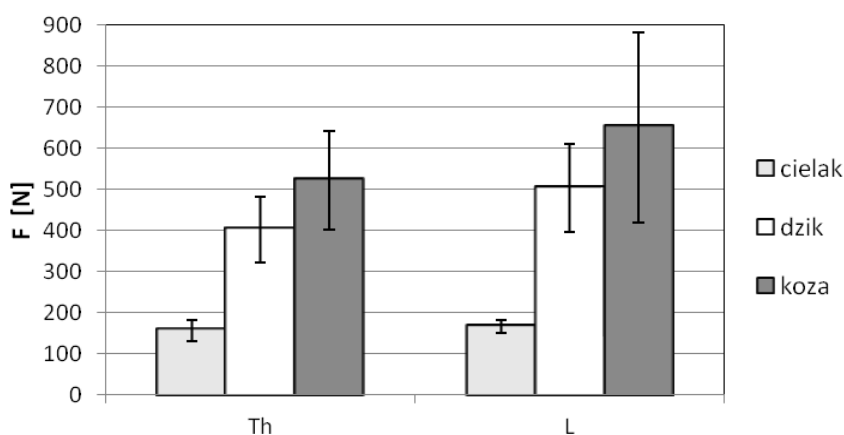
- poziomu badanych kręgów w kręgosłupie (odcinek piersiowy i lędźwiowy),
- położenia płytki granicznej (dolna płytka graniczna i górna płytka graniczna),
- obszaru płytki (tył, środek, przód).

Najwyższe średnie wartości siły niszczącej otrzymano dla odcinka lędźwiowego kozy 683,7±230 N a najniższe dla odcinka piersiowego cielaka 144,5±26,3 N.

Generalnie większe siły ściskające przenosi dolna płytka graniczna. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, iż najslabszym punktem blaszki granicznej, zarówno górnej jak i dolnej, jest część centralna.

Na podstawie zrealizowanych badań zauważono istotne podobieństwa oraz różnice w badanych płytkach granicznych. Kręgi lędźwiowe pochodzące od dzika i kozy mają większą wytrzymałość na ściskanie na powierzchni górnej, inaczej niż w przypadku cielaka.

W przypadku każdego zbadanego zwierzęcia można zaobserwować, iż kręgi lędźwiowe są bardziej wytrzymałe od kręgów pochodzących z odcinka piersiowego (rys.4).

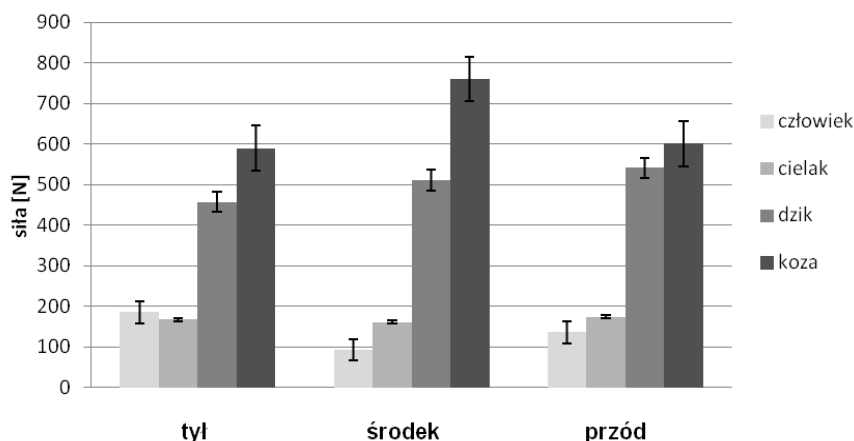


Rys. 4. Zestawienie średnich wartości siły niszczącej dla odcinka piersiowego i lędźwiowego dla 3 badanych zwierząt

Porównano następnie otrzymane wyniki z danymi literaturowymi dla ludzkich kręgów (rys. 5).

#### 4. WNIOSKI

Analizując wartości siły niszczącej dla kręgów lędźwiowych można zauważyć, że kręgi kozy i dzika przenoszą znacznie większe siły od kręgów ludzkich. Z kolei kręgi cielęce charakteryzowały się zbliżonymi wartościami do ludzkich. Są przy tym wyraźne różnice w regionalnej wytrzymałości blaszek granicznych: u dzika i kozy, w odróżnieniu od człowieka, najbardziej wytrzymały jest środek płytki. Pod tym względem kręgi cielęce są zbliżone do kręgów ludzkich.



Rys. 5. Zestawienie wartości sił niszczących w obszarze tylnym, środkowym i przednim kręgów lędźwiowych człowieka i 3 badanych zwierząt

Otrzymane wyniki dla kręgów piersiowych i lędźwiowych porównano z danymi dla kręgów ludzkich prezentowanych w pracy Oxlanda i zesp. [3]. Na tej podstawie można zaobserwować, że jedynie materiał pochodzący z odcinka lędźwiowego cielaka charakteryzuje się wartościami siły niszczącej zbliżonej do wartości uzyskiwanych dla materiału pochodzenia ludzkiego (rys. 5), a wytrzymałość płytki rośnie zbliżając się do brzegów w kierunku tylnym i przednim. Różnice te wynoszą 15% natomiast w przypadku materiału pochodzącego od dzika i kozy wartości maksymalnej siły w stosunku do materiału ludzkiego różnią się ponad trzykrotnie.

## LITERATURA

- [1] Grant J.P., Oxland T. R., Dvorak M.F., Mapping the structural properties of the lumbosacral vertebral endplates, *Spine* 26, 2001;
- [2] Kumar N., Kukreti S., Ishaque M., Mulholland R., Anatomy of deer spine and its comparison to the human spine, *The Anatomical Record* 260, 2000;
- [3] Oxland T. R., Grant P., Dvorak M. F., MD, Fisher Ch. G., Effects of endplate removal on the structural properties of the lower lumbar vertebral bodies, *Spine* 28, 2003;
- [4] Singh K., Masuda K., An H., Animal models for human disc generation, *The Spine Journal* 5, 2005;
- [5] Wilke H. J., Kettler A., Claes L. E, Are sheep spines a valid biomechanical model for human spines?, *Spine* 22, 1997;

## ANALYSIS OF FAILURE FORCE OF VERTEBRAL ENDPLATE

**Abstract.** In the article selected mechanical properties of vertebral endplates of animal origin for 3 different species: boar, goat and calf obtained in examinations, were presented. The tests involved elements from 2 parts of spine (thoracic and lumbar) and from both sides of vertebrae (lower and upper endplates). Both the maximum failure force and stiffness were determined depending on the part of a spine, position of the endplate and the origin of the tested vertebrae.