

Małgorzata ŻAK, Zakład Inżynierii Biomedycznej i Mechaniki Eksperymentalnej,
Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław

PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH JEDNOWARSTWOWYCH PRÓBEK PIERŚCIENIA WŁÓKNISTEGO W ODCINKU PIERSIOWYM I ŁĘDŹWIOWYM

Streszczenie. Pierścień włóknisty, wraz z jądrem miażdżystym, stanowi główny element budujący strukturę krążka międzykręgowego. Na podstawie jednoosiowego testu mechanicznego określono podstawowe właściwości mechaniczne zewnętrznej warstwy pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego. Parametry mechaniczne określono zarówno w część przedniej jak i tylnej segmentu ruchowego dla odcinka piersiowego i lędźwiowego kręgosłupa.

1. WSTĘP

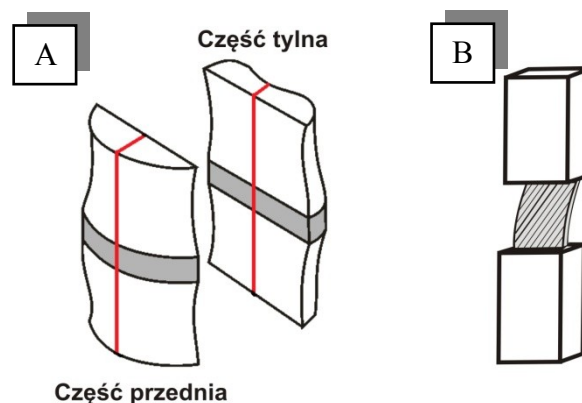
Zarówno pojedyncze segmenty jak i cała kolumna kręgosłupa odgrywają istotną rolę w procesie przenoszenia obciążeń przez kręgosłup. Nieodzowną częścią zapewniającą ruchomość i sprężystość kręgosłupa stanowi krążek międzykręgowy. W jego budowie można wyróżnić centralnie umiejscowione jądro miażdżyste, które otaczają od kilku do kilkunastu warstw pierścienia włóknistego [5,6].

O właściwościach mechanicznych pierścienia włóknistego decyduje nie tylko ułożenie włókien kolagenowych ale i połączenia poszczególnych blaszek z trzonami kręgów [3,4]. W prezentowanej pracy, na podstawie jednoosiowego rozciągania próbek pierścienia włóknistego, określono podstawowe parametry mechaniczne części przedniej i tylnej segmentu ruchowego. Badania przeprowadzono dla krążka międzykręgowego z odcinka piersiowego i lędźwiowego.

2. MATERIAŁ I METODA

Badania przeprowadzono na odcinku piersiowym i lędźwiowym kręgosłupa z 2 świń domowych w wieku ok. 8 miesięcy i wadze ok. 110 kg. Z badanych odcinków wyizolowano po 3 segmenty ruchowe składające się z połowy trzonów kręgu i znajdującego się między nimi krążka międzykręgowego. Segmenty po oczyszczeniu, do czasu badań, umieszczono w opakowaniach foliowych i zamrożono w temperaturze -20°C .

Ze względu na największą ruchomość kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej, próbki do badań wycięto z części przedniej i tylnej segmentu ruchowego, dzieląc każdą część na dwie symetryczne próbki (Rys.2.1a). Uzyskano w ten sposób 24 wielowarstwowe próbki wraz z przyczepem kostnym. Następnie z zewnętrznych warstw oddzielono pojedyncze blaszki pierścienia włóknistego (Rys.2.1b).



Rys.2.1. Przednia i tylna część badanego segmentu ruchowego a), jednowarstwowa próbka pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym b)

W sumie uzyskano 16 próbek o średnich wymiarach geometrycznych zestawionych w tabeli 2.1. Jednowarstwowe próbki niezdegenerowanego pierścienia włóknistego wraz z przyczepem kostnym, przed testem mechanicznym, uwodniono w roztworze soli fizjologicznej w temperaturze pokojowej. Miało to na celu przywrócenie fizjologicznego uwodnienia pierścienia włóknistego oraz eliminację wpływu pęcznienia na analizowane parametry mechaniczne [8].

Tab.2.1. Zestawienie średnich wartości wymiarów pojedynczej warstwy pierścienia włóknistego dla przedniej i tylnej części badanego segmentu w odcinku piersiowym i lędźwiowym kręgosłupa

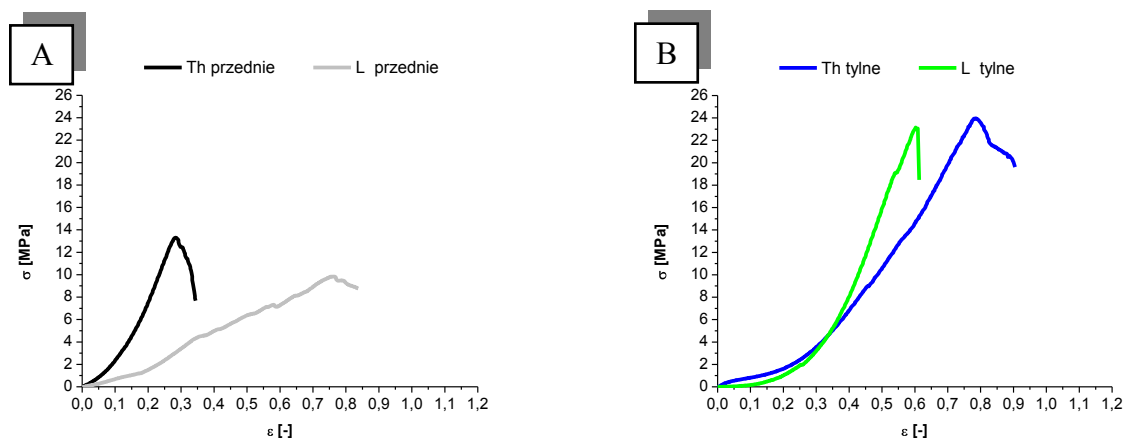
CZĘŚĆ BADANEGO SEGMENTU		ODCINEK KRĘGOSŁUPA	
		PIERSIOWY	LĘDZWIOWY
PRZEDNIA	Długość [mm]	5,25±0,87	5,25±0,65
	Szerokość [mm]	5,64±1,18	7,00±0,71
	Grubość [mm]	0,43±0,05	0,65±0,06
TYLNA	Długość [mm]	3,75±0,29	4,38±0,48
	Szerokość [mm]	3,25±0,50	4,88±2,25
	Grubość [mm]	0,53±0,10	0,70±0,18

Badania mechaniczne, wykonane z zastosowaniem maszyny wytrzymałościowej MTS Synergie 100, polegały na teście jednoosiowego rozciągania ze stałą prędkością 0,5 mm/s, aż do zerwania preparatu. Przed właściwym testem próbki poddano 5 cyklom wstępnego obciążenia i odciążenia do ok. 20% wartości maksymalnego odkształcenia (ϵ_{MAX}).

Otrzymane wartości parametrów mechanicznych opracowane w pakiecie OriginPro 8. Wyniki przedstawiono w postaci wartości średnich wraz z odchyleniem standardowym.

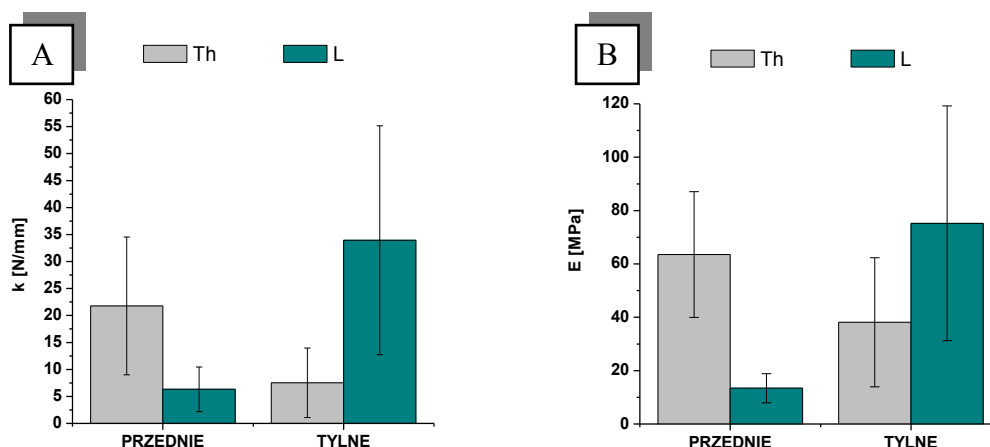
3. WYNIKI

Analiza krzywych naprężenie – odkształcenie dla badanych odcinków kręgosłupa wykazała znacznie mniejszą maksymalną wytrzymałość próbek na rozciąganie w części przedniej niż tylnej (Rys.3.1.a). Próbki z części przedniej charakteryzują się maksymalną wytrzymałością w granicach 15,36±6,19 MPa w odcinku piersiowym i 7,86±4,06 MPa w odcinku lędźwiowym. Jednowarstwowe próbki z części tylnej segmentu ruchowego charakteryzują się zbliżonymi wartościami maksymalnej wytrzymałości na rozciąganie tj. 23,26±3,45 MPa zarówno w odcinku piersiowym jak i lędźwiowym (Rys.3.1.b).



Rys.3.1. Przykładowe charakterystyki naprężenie – odkształcenie próbek z odcinka piersiowego i lędźwiowego dla: części przedniej segmentu ruchowego a), części tylnej segmentu ruchowego b)

Z nachylenia odcinka prostoliniowego krzywych siła – przemieszczenie i naprężenie – odkształcenie określono parametry mechaniczne: umowny współczynnik sztywności (k) i umowny moduły Young'a (E) (Rys.3.2.a,b). Wartości k i E wyznaczone w zakresie 35% – 70% od wartości maksymalnej siły (F_{MAX}) i maksymalnego naprężenia (σ_{MAX}). Największą wartości umownego współczynnika sztywności (k) otrzymano w odcinku lędźwiowym w części tylnej $33,94 \pm 21,20$ N/mm w porównaniu do części przedniej, dla której największą wartość otrzymano w odcinku piersiowym $21,77 \pm 12,77$ N/mm (Rys.3.2.a).



Rys.3.2. Parametry mechaniczne jednowarstwowych blaszek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym w części przedniej i tylnej segmentu ruchowego odcinka piersiowego i lędźwiowego: umowny współczynnik sztywności (k) a), umowny moduł Younga (E) b)

Wysokie wartości umownego moduły Younga (E) otrzymano w części tylnej odcinka lędźwiowego $75,23 \pm 43,99$ MPa i odcinka piersiowego $38,15 \pm 24,19$ MPa. Przy czym znaczące wartości uzyskano również w części przedniej odcinka piersiowego $63,53 \pm 23,57$ MPa (Rys.3.1.b).

4. PODSUMOWANIE

Nieprawidłowa praca kręgosłupa i działanie niekorzystnych obciążeń ściskających prowadzi do powstawania zmian degeneracyjnych w krążku międzykręgowym. Przedstawione wyniki badań pozwalają na ocenę właściwości mechanicznych pojedynczych

blaszek pierścienia włóknistego w odcinku piersiowym i lędźwiowym, charakteryzując własności krążka międzykręgowego związane z ruchomością kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej.

Próbki w części tylnej odznaczają się blisko dwukrotnie większą wytrzymałością na działającą siłę rozciągającą niż w części przedniej segmentu ruchowego. Związane jest to z faktem, że kręgosłup wykazuje większą ruchomość w części przedniej. W trakcie zginania, tylne warstwy pierścienia włóknistego muszą stawić opór działającym naciskom jądra miążdżystego [1,2]. Zjawisko to objawia się najczęściej w postaci wypuklin zewnętrznych warstw pierścienia, które pogłębiając się mogą odprowadzić do ucisku na rdzeń kręgowy [7]. Jednocześnie pierścień włóknisty w części tylnej odcinak lędźwiowego wykazał największe wartości sztywności jak i sprężystości. Odwrotną zależność zaobserwowano w odcinku piersiowym, gdzie największe wartości analizowanych parametrów mechanicznych wykazały próbki w części przedniej segmentu ruchowego.

LITERATURA

- [1] Adams M.A., Dolan P.: Spine biomechanics. *J. Biomech.*, 2005, 38(10):1972-1983.
- [2] Adams M.A., Roughley P.J.: What is intervertebral disc degeneration, and what causes it?. *Spine.*, 2006, 31(18):2151-2161.
- [3] Holzapfel G.A., Schulze-Bauer C.A.J., Feigl G., Regitnig P.: Single lamellar mechanics of the human lumbar annulus fibrosus, *Biomechan. Model Mechanobiol.*, 2005; 3:125-140.
- [4] Pezowicz C.: Analysis of selected mechanical properties of intervertebral disc annulus fibrosus in macro and microscopic scale, *Journal of theoretical and applied mechanics*, 2010; 48(4):917-932.
- [5] Pezowicz C.A., Robertson P.A, Broom N.D.: Intralamellar relationships within the collagenous architecture of the annulus fibrosus imaged in its fully hydrated state, *J. Anat.*, 2005; 207:299-312.
- [6] Skaggs D.L., Weidenbaum M, Iatridis J.C., Ratcliffe A., Mow V.C.: Regional variation in tensile properties and biochemical composition of the human lumbar anulus fibrosus. *Spine*, 1994, 19(12):1310-1319.
- [7] Urban J.P., Roberts S.: Degeneration of the intervertebral disc. *Arthritis Res Ther*, 2003,5(3):120–30.
- [8] Żak M.: Energia dyssypacji pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego. *Aktualne problemy biomechaniki* 4, 2010; 285-288.

MECHANICAL PROPERTIES OF SINGLE LAMELLAR ANNULUS FIBROSUS IN THORACIC AND LUMBAR SPINE

Summary. Annulus fibrosus with nucleus pulposus are the building structure of intervertebral disc. Using uniaxial tensile test were determined mechanical properties of outer single lamellar samples of annulus fibrosus. Experimental results were calculated for anterior and posterior margin of motion segments in thoracic and lumbar section of spine.

Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego N N518 501139.