

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

ENERGIA DYSSYPACJI PIERŚCIENIA WŁÓKNISTEGO KRĄŻKA MIĘDZYKRĘGOWEGO

Streszczenie. Znajomość właściwości mechanicznych pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego odgrywa istotne znaczenie w określeniu przyczyn powstawania zmian degeneracyjnych w czasie pracy kręgosłupa. Badania zewnętrznej struktury poprawnego fizjologicznie krążka międzykręgowego przeprowadzono w teście jednoosiowego rozciągania. Z otrzymanych charakterystyk mechanicznych wyznaczono zmiany wartości siły oraz energię dyssypacji.

1. WSTĘP

Przyczyną wzrastającej liczby osób uskarżających się na bóle kręgosłupa coraz częściej jest nie ergonomiczny styl pracy. Duże obciążenia oraz monotoniczność wykonywanych czynności wpływają na destabilizację krążka międzykręgowego, który stanowi istotną część zapewniającą ruchomość i elastyczność całego kręgosłupa [2].

W budowie krążka międzykręgowego główne znaczenie odgrywa zewnętrznie położony pierścień włóknisty, którego blaszki składają się z równolegle ułożonych włókien kolagenowych [1,3].

Analiza pętli histerez pozwala na wyznaczenie strat energii powstałych w czasie obciążania i odciążania próbki. Różnica pomiędzy polem krzywej obciążania i odciążania zwana energią dyssypacji pozwala na określenie m.in. właściwości mechanicznych tkanek biologicznych. Kompozytowa budowa pierścienia włóknistego wpływa na straty energii wynikające z wewnętrznych zmian zachodzących pomiędzy włóknami w czasie cyklicznego obciążania [4,5].

2. MATERIAŁ I METODA

Materiał badawczy stanowił odcinek lędźwiowy (L1-L5) kręgosłupa dzika w wieku ok. 2 lat i wadze ok. 80 kg, oczyszczony i podzielony na 4 segmenty (trzon – krążek – trzon) a następnie zamrożony w oddzielnych opakowaniach foliowych w temp -20°C , do czasu badań (Rys.1A). Próbki wycinano względem płaszczyzny czołowej, dzieląc każdy segment na dwie części przednią i tylną.

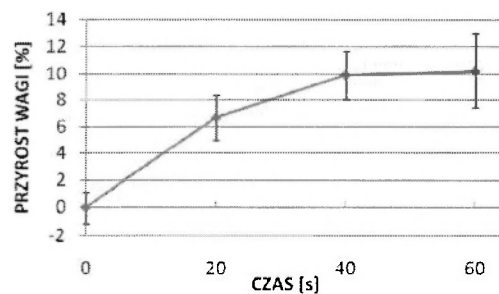
Z przednich części segmentu uzyskano 2 próbki zewnętrznych przednio – bocznych warstw pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego fizjologicznie poprawnego (Rys.1B). W sumie uzyskano 7 próbek o średniej długości $4,98 \pm 1,12$ mm, szerokości $14,42 \pm 1,15$ mm i grubości $3,94 \pm 0,66$ mm.



Rys. 1. a) Segment ruchowy kręgosłupa, b) badany element [6]

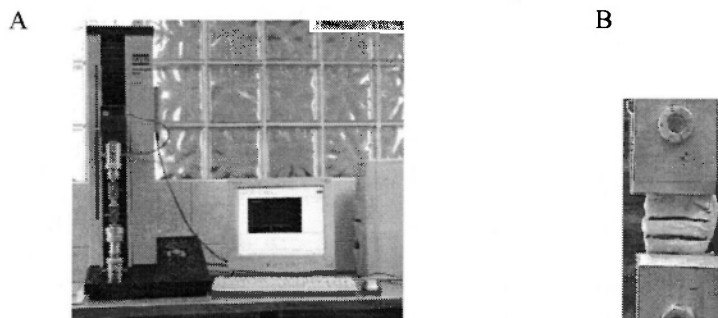
Przed testem mechanicznym próbki poddano procesowi uwodnienia w 0,15% roztworze soli fizjologicznej w temperaturze pokojowej. Prawidłowy pierścień włóknisty krążka międzykręgowego składa się w ponad 70% z wody, stąd istotne jest przywracanie prawidłowej koncentracji wody w badanych próbkach, ponieważ jej niedobór może wpłynąć niekorzystnie na przebieg testu mechanicznego [5].

Przyrost zawartości wody w badanej próbce wyznaczono na podstawie różnicy wagi suchej próbki a wagi próbki uwodnionej. Zaobserwowano istotny przyrost o 7% po upływie pierwszych 20 min od przebywania próbki w roztworze soli fizjologicznej i o 10% po upływie 40 min. Kolejny pomiar, po upływie 60 min, nie wykazał dalszego wchłaniania wody przez próbkę (Rys.2).



Rys. 2. Krzywa przyrostu zawartości wody w próbce pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego

Kilkuwarstwowe blaszki pierścienia włóknistego wraz z fragmentem trzonu kręgu montowano w maszynie wytrzymałościowej MTS Synergie 100 za pomocą specjalnych uchwytów (Rys. 3).

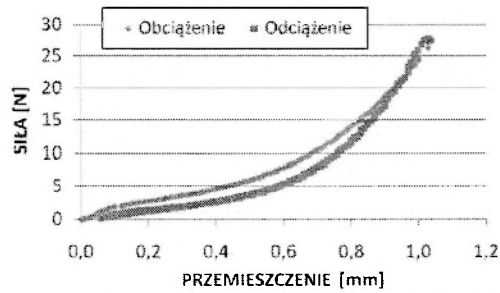


Rys. 3. a) stanowisko badawcze b) zamocowana próbka w maszynie wytrzymałościowej

Preparaty poddano jednoosiowemu rozciąganiu z prędkością 0,5 mm/s, aż do ich zerwania. Przed każdym testem wykonano 5 cykli obciążenia i odciążenia wstępnego próbki do przemieszczenia 1 mm.

3. WYNIKI

Na podstawie otrzymanych wartości wydłużenia próbki i odpowiadających im wartości siły wyznaczono krzywe siła – przemieszczenie kolejno następujących po sobie pętli histerezy dla, których określono maksymalną siłę i energie dyssypacji (Rys. 4).

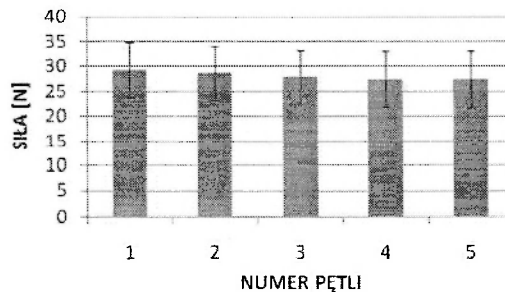


Rys. 4. Przykładowa pętla histerezy wstępnego obciążenia i odciążenia próbki w teście jednoosiowego rozciągania

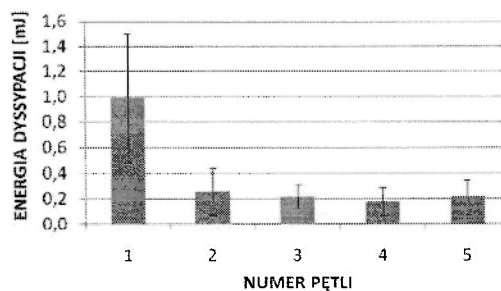
Energię dyssypacji kolejnych pętli histerezy wstępnych wyznaczono jako pola powierzchni ograniczone maksymalną wartością siły uzyskaną dla przemieszczenia 1 mm.

Wszystkie uzyskane wyniki opracowywano statystycznie (pakiet OriginPro 8) i przedstawiono w postaci wartości średnich wraz z odchyleniami standardowymi ($X \pm SD$).

Analizując zmiany wartości siły w kolejnych pętlach nie zaobserwowano istotnych różnic. Pierwsze 3 pętłe odznaczają się zbliżoną wartością w granicach 29–28N natomiast dla pętli 4 i 5 wartość ta wyniosła nieco ponad 27N (Rys.5).



Rys. 5. Zakres maksymalnej siły w kolejnych pętlach histerezy



Rys. 6. Energia dyssypacji kolejnych pętli histerezy wstępnego obciążenia i odciążenia próbek w teście jednoosiowego rozciągania

Zmiana energii dyssypacji w kolejnych pętłach wykazała znaczną utratę energii w pierwszej pętli w granicach $0,99 \pm 0,51$ mJ w porównaniu do pozostałych wykazujących dużo mniejsze wartości nie przekraczające 0,25 mJ (Rys. 6).

Dla pętli 2 wartość ta była mniejsza o ponad 74% a dla pętli 3 ponad 77% od wartości uzyskanej dla początkowej pętli. Najmniejszą utratę energii uzyskano dla pętli 4 ponad 80%. Zaobserwowano również nieznaczny wzrost rozproszonej energii dla ostatniej histerezy obciążenia i odciążenia wstępnego o 3% ($0,21 \pm 0,14$ mJ) w porównaniu do histerezy pętli 4 ($0,18 \pm 0,11$ mJ).

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę ilościową strat energii dyssypacji powstałych w cyklach wstępnego obciążenia pierścienia włóknistego fizjologicznie poprawnego krążka międzykręgowego. Pętle histerez charakteryzują się zbliżonymi wartościami maksymalnej siły, przy czym niezależnie od jej wartości zaobserwowano spadek energia dyssypacji w następujących po sobie cyklach.

Wprowadzając wstępne obciążenia i odciążania zmniejszamy wpływ właściwości lepkosprężystych zachodzących między włóknami a otaczającą je strukturą tworzącą rodzaj matrycy, przywracając tym samym fizjologiczne warunki pracy pierścienia włóknistego. Informacje o wartościach rozpraszanej energii pozwalają na lepsze określenie właściwości mechanicznych zwłaszcza wartości naprężenia i modułu sprężystości w czasie pracy całej struktury.

LITERATURA

- [1] Adams M.A., Green T.P.: Tensile properties of the annulus fibrosus. I The contribution of fibre-matrix interactions to tensile stiffness and strength. *Eur Spine J*, 1993; 2:203-208.
- [2] Dziak A., Tayara S.: Bóle krzyża. Kraków: KASPER, 1997.
- [3] Green T.P., Adams M.A., Dolan P.: Tensile properties of the annulus fibrosus. II Ultimate Tensile Strength and Fatigue life. *Eur Spine J*, 1993; 2:209-214.
- [4] Nuckley D.J., Kramer P.A., Resario A.D., Fabro N., Baran S., Ching R.P.: Intervertebral disc degeneration in naturally occurring primate model: radiographic and biomechanical evidence. *J Orthop Res* 2008; 23:1283-1288.
- [5] Thompson R.: Mechanical effects of degeneration in lumbar intervertebral disc. PhD Thesis, Queensland University of Technology, 2002.
- [6] <http://www.atlantaspineinstitute.com/6154/1.htm>

DISSIPATED ENERGY IN ANNULUS FIBROSUS OF INTERVERTEBRAL DISC

Summary. Knowledge of mechanical properties of annulus fibrosus play essential role to understanding effect of degenerative changes in the intervertebral disc at work of the spine. Samples of outer annulus fibrosus nondegenerate discs were tested destructively in uniaxial tensile tests. From the mechanical characteristics curves were determined: value of load and energy dissipation.