

Anna ZIĘTY, Międzywydziałowe Koło Naukowe Biomechaników, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław

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

DYNAMIKA PROCESU UWODNIENIA ELEMENTÓW SEGMENTU RUCHOWEGO KRĘGOSŁUPA

Streszczenie. Wraz z wiekiem i spadkiem aktywności ruchowej, obniża się zdolność krążka międzykręgowego do zachowania prawidłowej koncentracji wody. Stanowi to jedną z przyczyn przyspieszających powstawanie zmian degeneracyjnych w czasie pracy kręgosłupa. W przedstawionej pracy wyznaczono dynamikę procesu uwodnienia elementów segmentu ruchowego kręgosłupa. Równocześnie oceniono poddano wpływ elementów kostnych i chrzęstnych na uwodnienie pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego.

1. WSTĘP

Kręgosłup jest jedną z najistotniejszych struktur ludzkiego organizmu. Niestety w dobie rozwoju techniki i związanych z tym zmian warunków życia, jest on również najczęstszym miejscem występowania zmian patologicznych. Ostre lub przewlekłe przeciążenia, znacznie wpływają na utratę fizjologicznych funkcji krążka międzykręgowego [2]. To od niego uzależniona jest zarówno stabilność kolumny kręgosłupa, jak również naturalna amortyzacja wstrząsów. Krążek międzykręgowy to jeden z elementów organizmu, który nie jest bezpośrednio zaopatrywany w substancje odżywcze przez naczynia krwionośne. Proces uwadniania i odżywiania odbywa się na zasadzie dyfuzyjnego przepływu substancji z trzonów kręgu [4].

Powszechnie wiadomo, że cykliczne obciążanie i odciążanie kręgosłupa, powoduje bierną dyfuzję płynów ustrojowych między trzonem kręgu, płytką graniczną i pierścieniem włóknistym. Niestety zmniejszająca się wraz z wiekiem aktywność ruchowa, przyczynia się do obniżenia zdolności krążka międzykręgowego do zachowania prawidłowej koncentracji wody, przyspieszając tym samym powstawanie zmian degeneracyjnych.

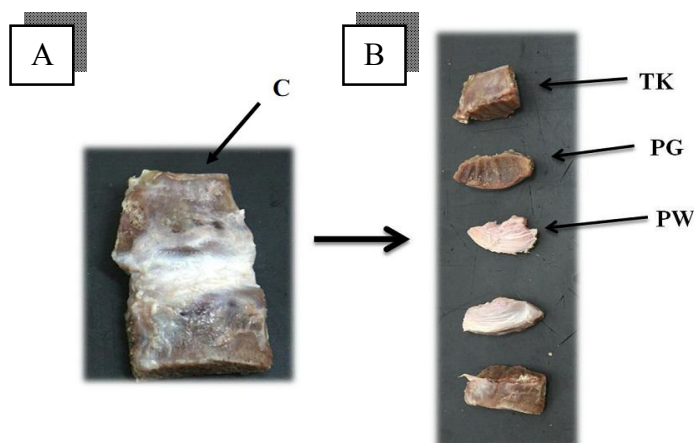
Głównym celem pracy jest porównanie zachowania się poszczególnych elementów segmentu ruchowego podczas procesu uwadniania. Na podstawie analizy prędkości przyrostu masy elementów kostnych i chrzęstnych segmentu ruchowego, tj. trzonu kręgu, płytki granicznej i pierścienia włóknistego, scharakteryzowano dynamikę procesu uwodnienia krążka międzykręgowego.

2. MATERIAŁ I METODA

Preparaty do badań stanowiły segmenty ruchowe odcinka piersiowego kręgosłupa świni domowej w wieku około 9-10 miesięcy o masie 100 kg, które po oczyszczeniu zamrożono w oddzielnych opakowaniach foliowych do czasu badań. Segment składał się z dwóch połówek trzonów kręgu połączonych krążkiem międzykręgowym. Do badań wybrano przednią część segmentu, którą przecięto symetrycznie tworząc dwie próbki. W sumie uzyskano 18 wielowarstwowych próbek pierścienia włóknistego z przyczepem

kostnym. W pierwszej kolejności badaniom poddano 9 próbek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym (C) - Rys.1.a.

Zasadniczym celem pracy była ocena wpływu elementów kostnych i chrzęstnych segmentu ruchowego (trzonu kręgu i płytki granicznej) na dynamikę procesu uwodnienia pierścienia włóknistego. Z tego względu kolejne 9 próbek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym podzielono na poszczególne elementy segmentu kręgosłupa: pierścień włóknisty (PW), płytkę graniczną (PG) oraz trzon kręgu (TK) - Rys.2.1.b. Próbki do czasu badań przechowywano w oddzielnych zamykanych pojemnikach w stałej temperaturze (2-4°C), tak aby nie zmieniać stopnia uwodnienia poszczególnych elementów. Jednocześnie czas pomiędzy przygotowaniem próbek a wykonaniem testu nie przekraczał 1 godziny.



Rys.1. Materiał badawczy: a) próbka pierścienia włóknistego wraz z przyczepem kostnym- C; b) poszczególne elementy segmentu ruchowego: TK- trzon kręgu, PG- płytka graniczna, PW- pierścień włóknisty

Do badań uwodnienia materiałów biologicznych stosuje się substancje uwadniające, które swoim składem chemicznym i gęstością, symulują płyny ustrojowe, występujące naturalnie w organizmie człowieka. Do jednych z najczęściej stosowanych roztworów uwadniających zalicza się roztwór soli fizjologicznej [1,3,8], który został wybrany do badań dynamiki procesu uwodnienia. Próbki przed uwodnieniem zważono na wadze Radwag PS 1000/C/2 o dokładności 0,001g, a następnie umieszczano w osobnych pojemnikach z roztworem soli fizjologicznej w temperaturze pokojowej. Aby wyznaczyć przyrost uwodnienia, próbki ważono w odstępach 5min a następnie ponownie umieszczano w roztworze NaCl. Czas całkowitego pomiar wynosił 45min.

3. WYNIKI

Na podstawie uzyskanych pomiarów masy próbki, zgodnie ze wzorem (1) wyznaczono przyrost masy (Δ_m) badanych próbek

$$\Delta_m = m_t - m_0 \quad (1)$$

gdzie:

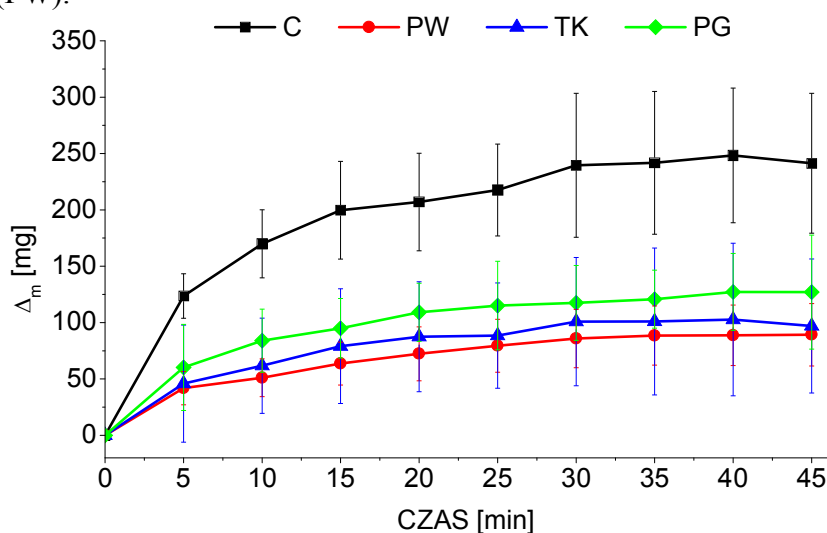
Δ_m [mg] – przyrost masy,

m_t [mg] – masa próbki w danym czasie t [min], $t \in \{0, 5, 10, \dots, 45\}$,

m_0 [mg] – masa początkowa próbki zmierzona w czasie $t=0$ min.

Charakterystyka średniego przyrostu masy analizowanych elementów segmentu ruchowego kręgosłupa przedstawiono na Rys. 2. Dla wszystkich badanych elementów otrzymano ten sam przebieg krzywych uwodnienia z widoczną granicą zmiany przyrostu masy po czasie 30min. W pierwszych 30min badania widoczna jest znaczna absorpcja płynów przez próbki. Po tym czasie nie zaobserwowano dalszej znaczącej absorpcji roztworu soli fizjologicznej przez badane elementy segmentu ruchowego.

Największy przyrost masy, widoczny jest w przypadku próbek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym (C). Natomiast dla wyizolowanych elementów segmentu ruchowego (PW, TK, PG) przyrost zawartości roztworu jest mniejszy średnio o 50% dla płytki granicznej (PG), 60% dla tkanki kostnej (TK) i 65% w przypadku wyizolowanego pierścienia włóknistego (PW).



Rys. 2. Charakterystyka przyrostu masy próbki w czasie uwodnienia pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym (C) i wyizolowanych elementów segmentu ruchowego: pierścienia włóknistego (PW), płytki granicznej (PG) i trzonu kręgu (TK)

Następnie znając wartości przyrostu masy (Δ_m) w czasie uwodnienia próbek w roztworze soli fizjologicznej wyznaczono prędkość przyrostu masy (V_{Δ_m}), opisującą dynamikę procesu uwodnienia segmentu ruchowego. Wartości prędkości wyznaczono zgodnie ze wzorem (2) przyjmując, że zmiana przyrostu masy jest stała w równych odstępach czasu:

$$V_{\Delta_m} = \frac{\Delta_m}{t} \quad (2)$$

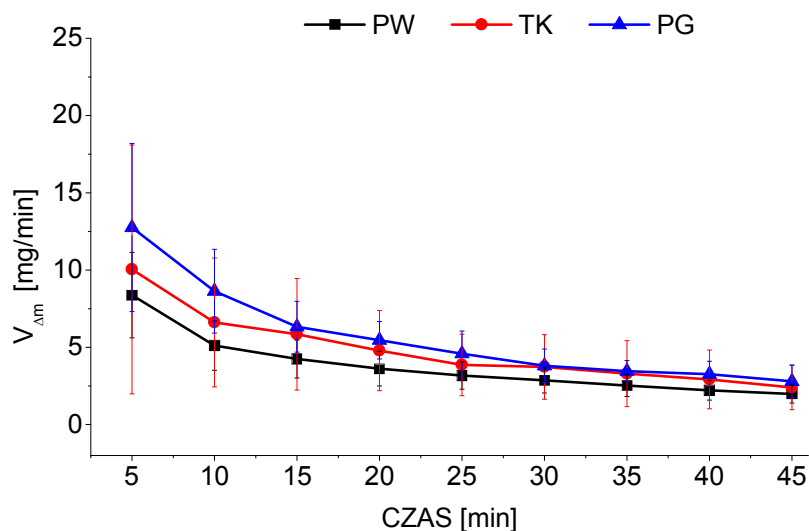
gdzie:

V_{Δ_m} [mg/min] – prędkość przyrostu masy,

Δ_m [mg] – przyrost masy,

t [min] – czas, $t \in \{0, 5, 10, \dots, 45\}$.

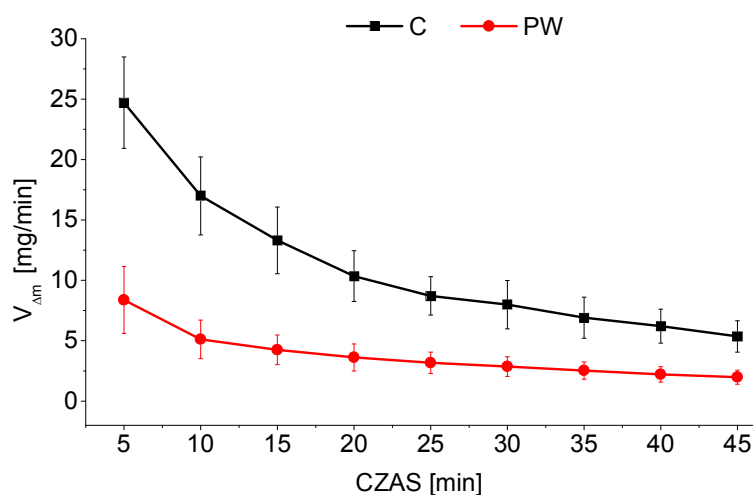
Początkowa prędkość absorpcji roztworu w przypadku wyizolowanych elementów segmentu ruchowego wynosi: $10,04 \pm 8,05$ mg/min dla trzonu kręgu, $12,76 \pm 5,44$ mg/min dla płytki granicznej i $8,38 \pm 2,77$ mg/min dla pierścienia włóknistego (Rys. 3). Po upływie 30min, gdzie widoczna był granica spadku przyrostu masy, prędkość zmalała i wynosi: $3,73 \pm 2,09$ mg/min dla TK, $3,80 \pm 1,09$ mg/min dla PG i $2,86 \pm 0,82$ mg/min dla PW. W porównaniu do dynamiki przyrostu masy płytki granicznej i trzonu kręgu średnia prędkość absorpcji płynu przez pierścień włóknisty jest znacznie mniejsza i wynosi $2,40 \pm 0,38$ mg/min.



Rys.3. Charakterystyka krzywej prędkości przyrostu masy elementów segmentu ruchomego kręgosłupa: pierścień włóknisty (PW), płytką graniczną (PG) i trzon kręgu (TK)

Przebieg dynamiki procesu uwodnienia (Rys. 4) wskazuje, że w przypadku próbek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym (C), początkowa prędkość wynosi $24,71 \pm 3,78 \text{ mg/min}$ i jest większa o 68% od prędkości uzyskanej dla próbek wyizolowanego pierścienia włóknistego (PW). Różnica między średnimi wartościami prędkości przyrostu masy w próbkach C i PW po czasie 5min ($16,33 \text{ mg/min}$), 30min ($5,12 \text{ mg/min}$) i 45min ($3,38 \text{ mg/min}$)

W przypadku próbek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym prędkość przyrostu masy spada o 68% po 30min i o 78% po czasie 45min. Zbliżoną zależność wykazują próbki wyizolowanego pierścienia włóknistego dla którego prędkość absorpcji roztworu zmalała do 66% po czasie 30min i 76% po upływie 45min (Rys.3.3).



Rys. 4. Charakterystyka krzywej prędkości przyrostu masy pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym (C) i wyizolowany pierścień włóknisty (PW)

Porównując przebieg przyrostu masy oraz dynamikę procesu uwodnienia w przypadku badania wyizolowanego pierścienia włóknistego (PW) i z przyczepem kostnym (C), obserwuje się istotną różnicę wartości przyrostu masy podczas uwodnienia.

W pierwszym przypadku, nasycenie roztworem następuje gwałtownie, z czym związany jest wzrost masy i skok krzywej podczas pierwszych 20-30 minut badania. Przy uwadnianiu wyizolowanego pierścienia włóknistego (PW), w porównaniu do krzywej uzyskanej dla próbek pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym (C), widoczna jest już od początku badania, dużo większa stabilność wzrostu masy próbek. Obserwuje się więc trzy razy większy przyrost masy pierścienia włóknistego z przyczepem kostnym, niż bez elementów kostnych i chrzęstnych.

4. PODSUMOWANIE

Przywracanie prawidłowego uwodnienia krążka międzykręgowego jest istotnym elementem, służącym eliminacji wpływu pęcznienia na parametry mechaniczne tkanki [6]. W testach, w których wyznaczana jest wytrzymałość krążka międzykręgowego należy pamiętać o uwzględnieniu warunków fizjologicznych, występujących naturalnie w organizmie. Pierścień włóknisty składa się w 70% z wody [5,7]. Jednocześnie jak wskazują badania Acaroglu i wsp. zróżnicowana zawartość wody pomiędzy zewnętrznymi a wewnętrznymi warstwami tej struktury nie wpływa na szybkość absorpcji płynów [1]. Istotne są więc informacje na temat przywracania prawidłowej koncentracji płynów w czasie badań krążka międzykręgowego.

Analiza uzyskanych charakterystyk procesu uwodnienia, wskazuje na duży wpływ elementów kostnych i chrzęstnych na uwodnienie samego pierścienia włóknistego. Porównując poszczególne elementy segmentu ruchowego widoczna jest znacznie większa zdolność absorpcji w przypadku płytki granicznej (PG) większa średnio o 31% od wyizolowanego pierścienia (PW) i o 20% od tkanki kostnej (TK) - Rys.3.1. Wynika to z faktu, że płytka graniczna zawiera w sobie zarówno elementy kostne jak i chrzęstne. Porównanie uwodnienia PW i C, wykazało istotną różnicę w absorpcji soli fizjologicznej. Dynamika procesu jest zdecydowanie większa przy współpracy z trzonem kręgu i płytką graniczną niż przy wyizolowanym pierścieniu włóknistym (Rys.3.3).

Dodatkowo obserwuje się jednakowy charakter przebiegu dla wszystkich analizowanych próbek. Wartość krzywych na początku gwałtownie wzrasta, po czym powoli stabilizuje się, aż do osiągnięcia stanu, w którym nie stwierdza się istotnego przyrostu masy. Początkowe 30min to czas, wystarczający do pełnego, fizjologicznego uwodnienia pierścienia włóknistego.

LITERATURA

- [1] Acaroglu E.R., Iatridis J.C., Setton L.A., Foster R.J., Mow VC., Weidenbaum M., *Degeneration and aging affect the tensile behavior of human lumbar annulus fibrosus*. Spine, 1995, 20(24): 2690-2701.
- [2] Baker B., Reisky P., *Bóle i choroby kręgosłupa*, wyd. AMBER, Warszawa 2001.
- [3] Costi J.J., Hearn T.C., Fazzalari N.L., *The effect of hydration on the stiffness of intervertebral discs in an ovine model*, Clinical Biomechanics. 2002, 17: 446-455.
- [4] Dziak A., Tayara S., *Bóle krzyża*, wyd. Firma Handlowo-Usługowa KASPER s.c., Kraków 1997.
- [5] Jackson A.R., Gu W.Y., *Transport properties of cartilaginous tissues*, Current Rheumatology Reviews. 2009, 5: 40-50.
- [6] Skaggs DL, Weidenbaum M, Iatridis JC, Ratcliffe A, Mow VC., *Regional variation in tensile properties and biochemical composition of the human lumbar annulus fibrosus*. Spine, 1994, 19(12):1310-1319.
- [7] Stellman J.M., *Encyclopaedia of occupational health and safety: Ch. 6. Roberts S., Urban J.P.G., Intervertebral disc*, International Labour Office, Geneva 1998.

- [8] Żak M., *Energia dysypacji pierścienia włóknistego krążka międzykręgowego*, Aktualne Problemy Biomechaniki, 2010, 4: 285-288.

THE DYNAMICS OF SWELLING EFFECT OF THE SPINE MOTION SEGMENT ELEMENTS



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**DOLNY
ŚLĄSK**

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Praca współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego