

Bożena GZIK-ZROSKA¹, Kamil JOSZKO², Justyna ROSTOCKA³

¹Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

²Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

³Studenckie Koło Naukowe „Biokreatywni” przy Katedrze Biomechatroniki Politechniki Śląskiej

WYZNACZENIE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ŚCIĘGIEN ŚWIŃSKICH DO ZASTOSOWAŃ KSENOGENICZNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych na ścięgnach przednich kończyn świńskich. Badania przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej MTS Insight. W ramach badań wyznaczono wartości modułu Younga, naprężeń oraz odkształceń ścięgien palców przednich jako preparatów do zastosowań ksenogenicznych.

Słowa kluczowe: statyczna próba rozciągania, ścięgno, moduł Younga.

1. WSTĘP

Ścięgna to struktury łączące mięsień z kością, przenoszące siły skurczu mięśniowego na kość wywołując ruch w stawie. Wraz z więzadłami oraz mięśniami stanowią elementy układu ruchu. Składają się przede wszystkim z włókien kolagenu, substancji podstawowej i fibrocytów. Są one odpowiedzialne za syntezę białek w macierzy zewnątrzkomórkowej, produkowanie przestrzeni międzykomórkowej i jej przebudowy podczas gojenia się ścięgna. Ścięgna są utworzone przez tkankę łączną zbitą o regularnym układzie włókien [5-7]. Ze względu na swoją strukturę oraz pełnione funkcje często ulegają zerwaniu i wymagają rekonstrukcji. Urazy ścięgien można leczyć, jednak nie osiągają one tych samych właściwości biochemicznych co przed kontuzją. Zrozumienie procesów patologicznych oraz biomechanicznych jest konieczne do poprawy diagnostyki klinicznej i leczenia ścięgien. Coraz częściej w inżynierii tkankowej oraz medycynie regeneracyjnej wykorzystywane są materiały ksenogeniczne, czyli pozyskiwane od innych gatunków. Ze względu na zbliżoną budowę anatomiczną wykorzystywane są tkanki świńskie [9]. Istotnym jest zatem znajomość ich właściwości biomechanicznych oraz porównanie ze strukturami anatomicznymi człowieka. Nie istnieje jedna uniwersalna metoda wyznaczania własności mechanicznych ścięgien. Od lat przeprowadzane są testy z wykorzystaniem ultradźwięków, rezonansu magnetycznego, maszyn wytrzymałościowych oraz dynamometrów. Ze względu na brak możliwości wykorzystania w niektórych badaniach organizmów żywych badania przeprowadzane są na preparatach. W niniejszej pracy przeprowadzono badania wytrzymałościowe ścięgien świńskich mające na celu określenie własności mechanicznych badanych struktur.

2. METODYKA BADAŃ

Badania doświadczalne przeprowadzono w Katedrze Biomechatroniki Politechniki Śląskiej z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej MTS Insight 2 (Rys. 1)

a)



b)



Rys. 1. a) Maszyna wytrzymałościowa MTS Insight 2, b) preparat zamocowany w uchwytach

Próbki do badań pobrano od świń w wieku ok. 6 miesięcy i wadze od 80 do 100 kg (Rys. 2), a następnie przebadano wciągi 24 godzin od czasu uboju.



Rys. 2. Próbki ścięgien świni

Wypreparowanych zostało po 5 ścięgien z 10 przednich nóg (ścięgno prostownika palca II, ścięgno brzuśca przyśrodkowego palca III, ścięgno brzuśca pośrodkowego palca III i IV, ścięgno prostownika palca IV, ścięgno prostownika palca V). Do czasu przeprowadzenia badań próbki przechowywane były w soli fizjologicznej w celu utrzymania stałego poziomu nawilżenia. Próbki mocowano w uchwytach zabezpieczonych specjalistycznymi wkładami, których celem było zminimalizowanie spiętrzenia naprężeń w miejscu mocowania próbki. Odległość między uchwytami wynosiła 60 mm. Preparaty poddano guazi-statycznej próbie rozciągania z prędkością 10 mm/min do momentu zerwania próbki.

3. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonej statycznej próby rozciągania wyznaczono wartość maksymalnej siły zrywającej F_{\max} [N], maksymalne naprężenie σ_{\max} [MPa], odkształcenie przy zerwaniu ϵ_{\max} [%] oraz moduł Younga E [MPa]. Ponieważ przebadano po dziesięć próbek z każdego rodzaju ścięgna, obliczono średnie wartości oraz odchylenia standardowe. Tabela 1. przedstawia uśrednione wyniki z poszczególnych prób osobno dla każdego rodzaju ścięgna.

Tabela 1. Uśrednione wyniki własności mechanicznych ścięgien świńskich

Rodzaj ścięgna	F_{\max} [N]	σ_{\max} [MPa]	ϵ_{\max} [mm/mm]	E [MPa]
Ścięgno prostownika palca II	238,26 ±10,9	47,77 ±16,7	0,19 ±0,07	387,42 ±18,3
Ścięgno brzuśca przyśrodkowego palca III	204,49 ±7,9	56,40 ±24,3	0,10 ±0,03	742,98 ±28,1
Ścięgno brzuśca pośrodkowego palca III i IV	263,85 ±15,3	24,91 ±17,6	0,09 ±0,03	265,90 ±14,1
Ścięgno prostownika palca IV	264,89 ±18,9	39,32 ±25,4	0,34 ±0,09	496,79 ±41,6
Ścięgno prostownika palca V	138,67 ±10,2	25,00 ±17,5	0,09 ±0,01	344,95 ±14,5

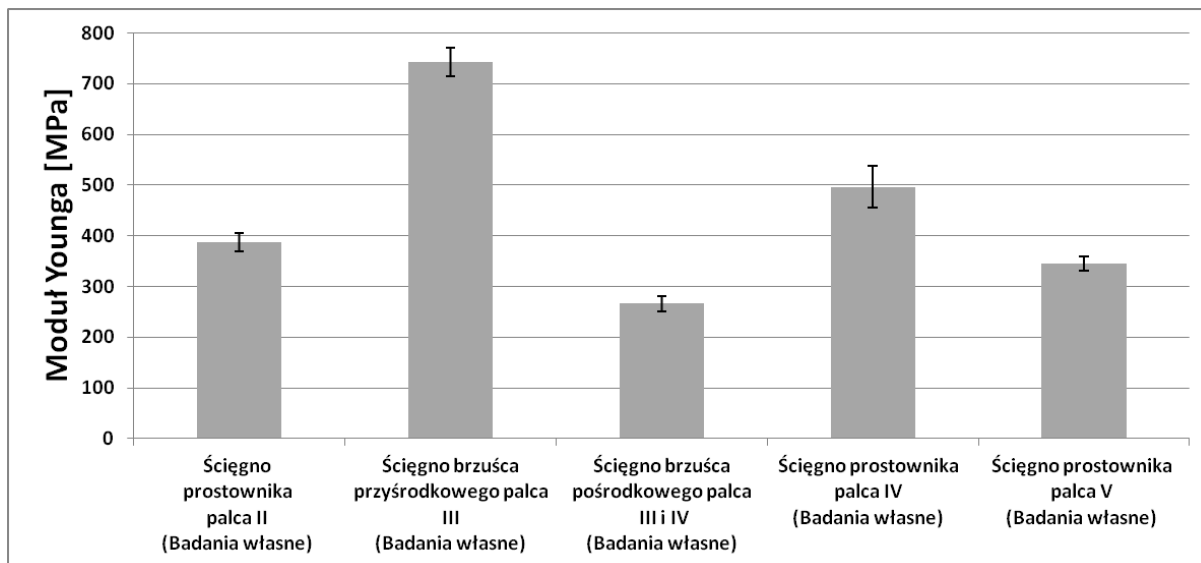
4. ANALIZA WYNIKÓW

Na podstawie uzyskanych wyników badań wyznaczono odchylenia standardowe dla wszystkich parametrów określających właściwości mechaniczne poszczególnych rodzajów ścięgien. Niewielkie odchylenia standardowe mogą wynikać z różnic osobniczych zwierząt. Średnie obciążenie przebadanych ścięgien świńskich wyniosło 220 N. Dla ścięgna prostownika palca IV oraz ścięgna brzuśca pośrodkowego palca III i IV uzyskano najwyższe średnie wartości, równe odpowiednio 264,9 N oraz 263,9 N, natomiast najniższą dla ścięgna prostownika palca V (tab. 1). Różnice między tymi wartościami mogą być związane z funkcją ścięgna, którą pełni w kończynie świńskiej oraz z polem przekroju ścięgna. Ścięgno prostownika palca IV w porównaniu ze ścięgnem prostownika palca V jest grubsze średnio o 1,39 mm.

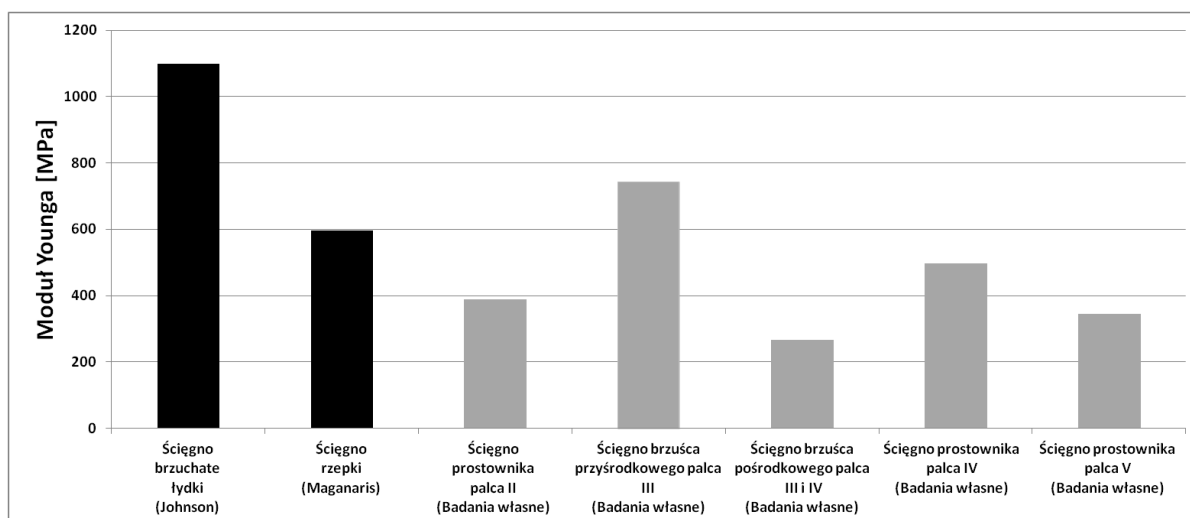
Na rysunku 3 przedstawiono uzyskane średnie wartości moduły Younga dla poszczególnych rodzajów ścięgien. Jak można zauważyć największe wartości uzyskano dla ścięgna brzuśca przyśrodkowego palca III 742,98 MPa, najmniejsze natomiast dla ścięgna brzuśca pośrodkowego palca III i IV 265,90 MPa. Wartości Modułu Younga pozostałych ścięgien są do siebie zbliżone i wynoszą odpowiednio dla ścięgna prostownika palca II 387,42 MPa, ścięgna prostownika palca IV 496,79 MPa oraz ścięgna prostownika palca V 344,95 MPa.

Porównując uzyskane wyniki modułu Younga z wynikami badań innych autorów (Rys. 4) można zauważyć, iż wyniki są najbardziej zbliżone do wartości modułu Younga ścięgna rzepki człowieka wyznaczonej przez Johnsona i współautorów [2]. Inaczej sytuacja wygląda porównując wyniki z wartościami uzyskanymi podczas badań Maganarisa [3] na ścięgnię

brzuchatym łydki. Wartość modułu Younga ścięgna brzuchatego łydki jest ponad dwukrotnie większa od wartości dla ścięgien kończyny przedniej świni.

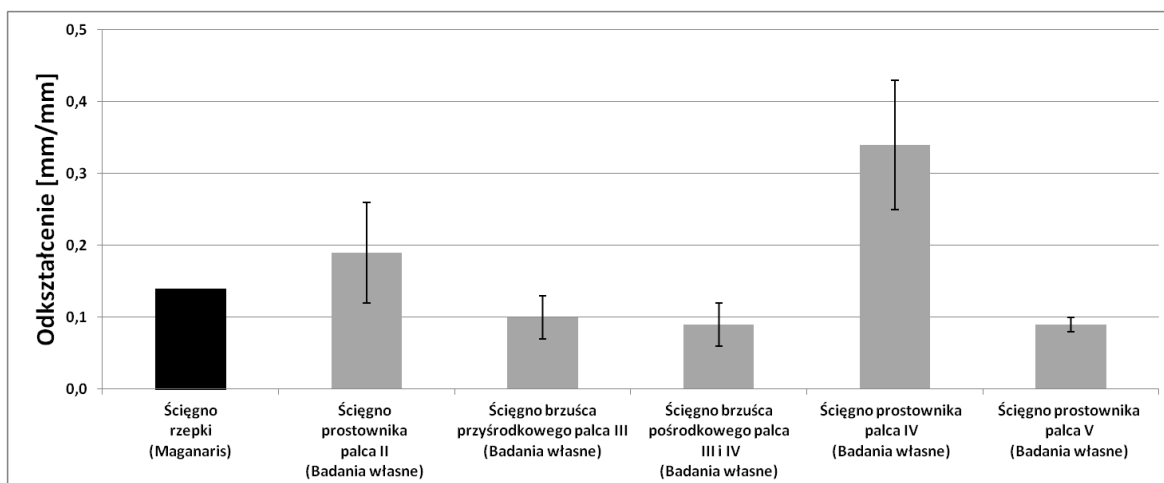


Rys. 3. Uśrednione wartości modułu Younga dla poszczególnych ścięgien świńskich



Rys. 4. Porównanie modułu Younga dla różnych ścięgien ludzkich i świńskich [2,3]

Na rysunku 5 przedstawiono średnie wartości odkształcenia dla poszczególnych rodzajów ścięgien. Największą wartością odkształcenia charakteryzuje się ścięgno prostownika palca IV 0,34 [mm/mm], najmniejsze wartości natomiast uzyskało ścięgno brzuśca pośrodkowego palca III i IV 0,09 [mm/mm].



Rys. 5. Uśrednione wartości odkształcenia przy zerwaniu dla ścięgien świńskich

5. PODSUMOWANIE

W dzisiejszych czasach w medycynie regeneracyjnej coraz popularniejsze stają się przeszczepy ksenogeniczne. Ze względu na utrudniony dostęp do preparatów transgenicznych koniecznym wydaje się zastępowanie ich preparatami zwierzęcymi. Wobec powyższego niezbędne jest poszerzenie wiedzy na temat biomechanicznych właściwości preparatów odzwierzęcych [8]. Wyznaczenie właściwości możliwe jest dzięki zastosowaniu specjalistycznej aparatury dostępnej w laboratoriach wytrzymałości materiałów. W niniejszej pracy podjęto próbę wyznaczenia parametrów mechanicznych ścięgien świńskich jak preparatów do zastosowań ksenogenicznych w rekonstrukcji ścięgna rzepki.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, iż właściwości mechaniczne ścięgien świńskich różnią się w zależności od rodzaju ścięgna. Porównując uzyskane wyniki badań można zaobserwować, że wartości modułu Younga dla ścięgna rzepki człowieka (605 MPa) oraz ścięgna brzośca przyśrodkowego palca III (742 MPa) są do siebie zbliżone. W przypadku odkształceń różnice w uzyskanych wartościach również są niewielkie i wynoszą dla ścięgna rzepki człowieka 0,14 [mm/mm] oraz 0,1 [mm/mm] ścięgna brzośca przyśrodkowego palca III. Dokonując oceny właściwości biomechanicznych ścięgien świńskich można stwierdzić, że do zastosowań rekonstrukcji ścięgna rzepki w przeszczepach ksenogenicznych najbardziej korzystnym wydaje się być ścięgno brzośca przyśrodkowego palca III. Uzyskane wyniki badań potwierdzają słuszność wykorzystania preparatów ksenogenicznych do przeszczepów rekonstrukcyjnych.

LITERATURA

- [1] Janjić N., Ninković S., Harhaji V., Stanković M., Savić D., Milankov M.: Biomechanical properties of porcine tendon. Serbia: University of Novi Sad, 2013.
- [2] Johnson G.A., Tramaglino D.M., Levine R.E., Ohno K., Choi N.Y., Woo S.L.: Tensile and viscoelastic properties of human patellar tendon. "Journal of Orthopaedic Research", No. 12, 1994, p. 796 - 803.
- [3] Maganaris C. N., Paul J. P.: Tensile properties of the in vivo human gastrocnemius tendon. "Journal of Biomechanics", No. 35, 2002, p. 1639 – 1646.
- [4] Yamada H.: Strength of Biological Materials. The Williams & Wilkins Company, Baltimore 1970.

- [5] Tejszerska D., Świtoński E., Gzik M.: Biomechanika narządu ruchu człowieka. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - Państwowego Instytutu Badawczego, Gliwice 2011.
- [6] Chruścicka N., Ciepiewski D., Łagan S.: Modelowanie endoprotezy stawu kolanowego. Aktualne Problemy Biomechaniki, nr 6, 2012, s. 15- 20.
- [7] Pukaluk A., Ryniewicz A.: Łąkotki stawu kolanowego – metody regeneracji. Aktualne Problemy Biomechaniki, zeszyt nr 12, 2017, s. 65- 74.
- [8] Rabij K., Kajzer A., Kajzer W.: Badanie własności mechanicznych bydłych kości udowych. Aktualne Problemy Biomechaniki, zeszyt nr 9, 2015, s. 105- 110.
- [9] <https://tvs.pl/informacje/przeszczep-wiezadla-kolanowego-dawca-swinia-wideo/>.

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES SWINE TENDONS FOR XENOGENIC TRANSPLANTATIONS

Abstract: In this paper it was presented the results of experimental investigations, performed on the swine tendons samples dissected from anterior limbs. The main aim of investigations was to determine the mechanical properties of swine tendons for xenogenic applications. The tests were carried out with the use of MTS Insight static machine. It was determined the Young's modulus values and also the stress and strains of tendons that occurs during the static tensile test.