

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I STRUKTURALNE TĘTNIAKÓW AORTY BRZUSZNEJ

MAGDALENA KOBIELARZ^{1*}, SYLWIA SZOTEK¹, PIOTR KUROPKA², KATARZYNA KALETĄ²

¹ POLITECHNIKA WROCLAWSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, ZAKŁAD INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ I MECHANIKI EKSPERYMENTALNEJ, WROCLAW, POLSKA

² UNIwersytet PRZYRODNICZY WE WROCLAWIU, WYDZIAŁ MEDYCYNY WETERYNARYJNEJ, KATEDRA ANATOMII I HISTOLOGII, WROCLAW, POLSKA

* E-MAIL: MAGDALENA.KOBIELARZ@PWR.WROC.PL

Streszczenie

W celu oszacowania prawdopodobieństwa przerwania ciągłości ściany tętniaka aorty brzusznej (AAA) konieczne jest zbadanie warunków obciążeniowych odpowiedzialnych za to zdarzenie, a także identyfikacja zmian zachodzących w strukturze ściany tego naczynia w procesie rozwoju schorzenia. Stąd, głównym celem prezentowanej pracy jest określenie mechanicznych oraz strukturalnych właściwości ścian tętniaków aorty brzusznej oraz preparatów zdrowych aort. W tym celu zastosowano test jednoosiowego rozciągania próbek wyciętych z pobranych preparatów w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach: wzdłużnym oraz obwodowym, a także przeprowadzono histologiczne badania mikrostruktury ściany naczyń. Na podstawie przeprowadzonego testu wytrzymałościowego wykreślono krzywą naprężenie-odkształcenie dla każdego przebadanego przypadku i wyznaczono charakterystyczne wielkości opisujące wytrzymałość oraz sztywność przebadanych próbek. Uzyskane wyniki wskazują na istotny wzrost sztywności w przypadku preparatów ścian tętniaków, co szczególnie zaznaczyło się w kierunku obwodowym.

[Inżynieria Biomateriałów, 81-84, (2008), 98-100]

Wprowadzenie

Tętniak aorty brzusznej jest potencjalnie śmiertelnym schorzeniem o charakterze degeneracyjnym, którego przebieg związany jest z osłabieniem ściany aorty. AAA jest istotnym problemem społecznym i klinicznym. Częstotliwość występowania tętniaka waha się na poziomie 4÷10% [1,2]. Nieleczony tętniak stale się rośnie i rozwija aż do momentu przerwania ciągłości jego ściany, co powoduje śmiertelność na poziomie 90% [3,4]. Z drugiej strony, planowe zabiegi operacyjne wycięcia tętniaka aorty brzusznej są kosztowne i związane są ze zdecydowanie niższą, ale nadal znaczącą śmiertelnością pacjentów. Wybór między zabiegiem planowego usunięcia tętniaka a zachowawczym leczeniem jest złożonym problemem, gdyż brakuje obecnie wiarygodnych wskaźników prawdopodobieństwa pęknięcia tętniaka. Maksymalna średnica tętniaka jest szeroko akceptowanym wskaźnikiem ryzyka jego pęknięcia i najczęściej używana jest w praktyce klinicznej do rekomendowania pacjentów do interwencji chirurgicznej. Jednakże, wyniki wielu badań sugerują, że pęknięcie tętniaka jest końcowym zdarzeniem, które zachodzi wówczas kiedy naprężenia przekroczą zdolność tkanki do ich przenoszenia [5]. Obniżenie wytrzymałości ściany naczynia związane jest ze zjawiskiem destrukcji i degradacji protein macierzy międzykomórkowych, tj. ela-

MECHANICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

MAGDALENA KOBIELARZ^{1*}, SYLWIA SZOTEK¹, PIOTR KUROPKA², KATARZYNA KALETĄ²

¹ WROCLAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING, DIVISION OF BIOMEDICAL ENGINEERING AND EXPERIMENTAL MECHANICS, WROCLAW, POLAND

² WROCLAW UNIVERSITY OF ENVIRONMENTAL AND LIFE SCIENCES, FACULTY OF VETERINARY MEDICINE, DEPARTMENT OF ANATOMY AND HISTOLOGY, WROCLAW, POLAND

* E-MAIL: MAGDALENA.KOBIELARZ@PWR.WROC.PL

Abstract

To estimate when an abdominal aortic aneurysm (AAA) may rupture, it is necessary to understand the forces responsible for this event and structural alterations lead to changes in the mechanical properties of the tissue. Hence, the main goal of presented study is determination and assessment of mechanical and structural properties of the walls of normal abdominal aortas and abdominal aortic aneurysms. With this end in view uniaxial tensile tests of the specimens cut out from the walls of abdominal aortic aneurysms and normal abdominal aortas in two directions – longitudinal and circumferential – have been carried out and histological study has been performed. On the basis of these tests the stress-strain relationships have been determined for each investigated specimen and the maximum tangential modulus as well as the ultimate tensile strength has been assigned. The results indicate the increase of tissue stiffness in the case of abdominal aortic aneurysms, especially in the circumferential direction.

[Engineering of Biomaterials, 81-84, (2008), 98-100]

Introduction

Abdominal aortic aneurysm is a degenerative and a potentially fatal disease which involves weakening of the aorta. AAA is a major public health problem because of its prevalence and risk of rupture. The prevalence of AAA in the general population is 4÷10% [1,2]. An untreated aneurysm will gradually grow and expand until rupture; it is an event that carries a mortality rate of 90% [3,4]. On the other hand, the elective surgical repair of an AAA is expensive and carries lower but still significant morbidity and mortality risks. The choice between elective surgical repair of AAA and conservative watchful management is a complex problem due to the lack of reliable rupture risk indicators. The maximum transverse diameter of aneurysm is a widely accepted indicator for risk of aneurysm rupture and most commonly used in clinical practice to recommend surgical intervention. However results of numerous investigations suggest that the AAA rupture is the final event that occurs when the tissue stress exceeds the tissue ability to sustain stress [5]. A key event in the reduction of aortic wall tensile strength that accompanies aneurysmal dilatation is the destruction and degradation of extracellular matrix proteins i.e. elastin and collagen [6]. Hence, we have advocated the use of a biomechanical and structural approach to predict AAA development and rupture. For this reason the main aim of this paper is to determine experimentally the mechanical

styny i kolagenu [6]. Stąd, autorzy popierają używanie biomechanicznych i strukturalnych właściwości ściany naczynia do przewidywania stopnia rozwoju i prawdopodobieństwa pęknięcia tętniaka. Z tego powodu, głównym celem tej pracy jest określenie na podstawie badań eksperymentalnych, mechanicznych i strukturalnych parametrów ścian tętniaków aorty brzusznej oraz ścian niezmiennych patologicznie preparatów aort brzusznych.

Material i metody

Preparaty ścian tętniaka pobrano od 42 dorosłych pacjentów ($72,5 \pm 8,0$ lat) poddanych planowemu zabiegowi wycięcia tętniaka. Natomiast preparaty ścian niezmiennych aorty brzusznej pobierano w czasie sekcji zwłok (do 24h po zgonie) od 35 denatów. Wszystkie preparaty umieszczano w roztworze soli fizjologicznej, schładzano do temperatury 4°C i poddawano badaniom w czasie jednej godziny od pobrania. Prostokątne próbki (około $50\text{mm} \times 30\text{mm}$) były wycinane przy użyciu równoległościennego wykrojnika w dwóch kierunkach: obwodowym i wzdłużnym w stosunku do długiej osi nienaruszonego naczynia. Wymiary geometryczne były mierzone w sposób bezkontaktowy z zastosowaniem wideoekstensometru w czasie rzeczywistym w trakcie trwania testu mechanicznego. Testy mechaniczne prowadzono na maszynie wytrzymałościowej (MTS Synergie 100). Po wykonaniu pierwszej fazy testu, tj. obciążenia wstępnego, próbki były rozciągane aż do zniszczenia. Naprężenia Cauchy'ego i odkształcenie Green'a liczone były przy założeniu, że próbki w czasie trwania testu mechanicznego zachowują stałą objętość (ściany naczyń krwionośnych są traktowane jako materiał nieściśliwy) [7]. Maksymalny moduł styczny obliczano jako maksymalne pochylenie krzywej naprężenie-odkształcenie, natomiast maksymalną wytrzymałość wzięto jako szczytową wartość naprężenia otrzymanego przed zniszczeniem próbki. Przykładowy wykres naprężenie-odkształcenie przedstawiono na RYS. 1.

Jednocześnie, prowadzone były histologiczne badania mikrostruktury materiału badawczego. Zastosowano barwienie Verhoeff'a w celu oceny zmian patologicznych sieci włókien elastynowych dla wszystkich przebadanych preparatów.

Wyniki i dyskusja

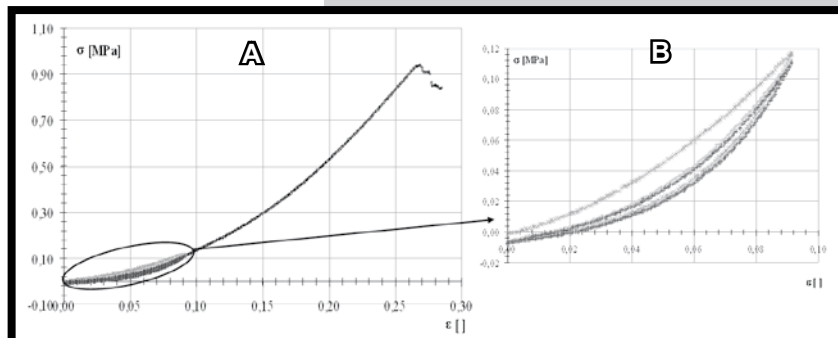
Na podstawie przeprowadzonych badań, uzyskane wyniki wskazują na znaczące obniżenie sprężystości ścian tętniaków jak również obniżenie ich wytrzymałości mechanicznej, co szczególnie zaznaczyło się dla obwodowego kierunku badania. Podobne wyniki uzyskali inni autorzy, przy czym większość prezentowanych przez nich wniosków miała charakter pośredni. He i Roach [8] oraz Thubikar i inni [9] odnotowali, że ściany tętniaków aorty brzusznej są sztywniejsze niż ściany aorty brzusznej bez zmian patologicznych. Charakterystyki przez nich otrzymane dla ścian AAA były przesunięte w lewo w stosunku do krzywych uzyskanych dla naczyń zdrowych, ponadto nachylenie krzywej było większe – stąd wniosek o wyższej sztywności ścian tętniaków w porównaniu do zdrowej tkanki.

and structural properties of the walls of abdominal aortas and the walls of abdominal aortic aneurysms.

Material and methods

Samples of aneurysm walls were harvested from 42 adult patients ($72,5 \pm 8,0$ years) undergoing elective open AAA repair procedures. The samples of non-aneurysmal walls were collected at autopsy within 24 hours after death from 35 age-matched cadavers. All tissue specimens were placed in saline, refrigerated at 4°C , and tested within an hour of procurement. Rectangular specimens (approximately $50\text{mm} \times 30\text{mm}$) were cut out by the use of a rectangular parallelepiped punch in the circumferential and longitudinal orientations with respect to the intact aorta. The geometrical dimensions were measured for each specimen in a non-contacting fashion with a videoextensometer in real time during the mechanical test. The tissue specimens were placed in a uniaxial tensile testing system (MTS Synergie 100). After a first phase, i.e. prestretching, the specimen was stretched until failure of the tissue was reached.

The Cauchy stress and the Green strain was calculated on the assumption that the volume of the specimen was conserved (the arterial wall is incompressible) [7]. The maximum tangential modulus was taken as the maximum slope of each stress-strain curve; the ultimate tensile strength was taken as the peak stress obtained before specimen failure. The representative stress-strain curve obtained from the tensile tests is shown in FIG. 1.



RYS. 1. A) Przykładowa zależność naprężenie-odkształcenie dla próbek wyciętej ze ściany tętniaka aorty brzusznej B) Powiększenie początkowego odcinka charakterystyki, tj. obciążenia wstępnego.

FIG. 1. A) The representative stress-strain relationship for the wall of abdominal aortic aneurysm. B) The enlargement of the initial part of the characteristics, the first phase of investigation, i.e. prestretching.

Simultaneously, histological evaluation of the specimens was performed. Verhoeff's elastic tissue stain was performed to assess the pathological changes in the elastin network in all the artery specimens.

Results and discussion

On the basis of the conducted research, the obtained results indicate a significant decrease of elasticity of the walls and a decrease of mechanical strength in the case of abdominal aortic aneurysm, especially in circumferential direction. Similar results were obtained by other authors, although majority of their conclusions have been indirect. He and Roach [8] and Thubikar et al. [9] also have noted that the walls of abdominal aortic aneurysm were stiffer than the walls of abdominal aorta without pathological changes. The characteristics obtained for the walls of abdominal aortic aneurysm were shifted leftwards in comparison with the curves obtained for the walls of abdominal aorta and the slope of the curves was higher. Goodal et al. [10] showed that abdominal aortic aneurysm was the effect of systemic disease, which affects the whole vascular system and is characterized by an increase of stiffness of the

Goodal i inni [10] wskazali, że tętniaki aorty brzusznej są wynikiem ogólnoustrojowej choroby, która dotyka całego systemu krwionośnego i jest charakteryzowana poprzez wzrost sztywności ścian naczyń. Wielu autorów, podobnie jak autorzy, obserwuje obniżenie koncentracji elastyny w ścianie tętniaka aorty brzusznej w porównaniu do ściany zdrowego naczynia [7,8,10,11]. Na podstawie przeprowadzonych badań i otrzymanych wyników, możliwe jest stwierdzenie, że w procesie rozwoju tętniaka, włókna elastynowe ulegają degradacji, która skutkuje obniżeniem wytrzymałości ściany naczynia oraz wzrostem jego sztywności.

Piśmiennictwo

- [1] Ceniga M., et al. Growth rate and associated factors in small abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006; 31: 231-236.
 [2] Lindholt J.S., et al. Immunoglobulin A antibodies against Chlamydia pneumoniae are associated with expansion of abdominal aortic aneurysm. *British Journal of Surgery*, 1999; 86: 634-638.
 [3] Hans SS, et al. Size and location of thrombus in intact and ruptured abdominal aortic aneurysms. *J. Vascular Surgery*, 2005; 41: 584-588.
 [4] Vorp D.A., Geest J.P.V. Biomechanical determinants of abdominal Aortic aneurysm rupture. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 2005; 25: 1558-1566.
 [5] Martino E.S.D., et al. Biomechanical properties of ruptured versus electively repaired abdominal aortic aneurysm wall tissue. *Journal of Vascular Surgery*, 2006; 43: 570-576.
 [6] Choke E., et al. Review of biological factors implicated in Abdominal aortic aneurysm rupture. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 2005; 30: 227-244.

walls of vessels. Many authors, similarly like in presented study, have noted a loss of elastin in the wall of abdominal aortic aneurysm in comparison with the wall of a healthy abdominal aorta [7,8,10,11]. On the basis of the obtained results, it can be stated that in the process of aneurysm development elastin fibres undergo degradation, which results in a decrease of mechanical strength of a vessel and an increase of stiffness of the aortic wall.

References

- [7] Raghavan M., Webster M., Vorp D. Ex vivo biomechanical behaviour of abdominal aortic aneurysm: assessment using a new mathematical model. *Annals of Biomedical Engineering*, 1996; 24: 573-582.
 [8] He C.M., Roach M.R. The composition and mechanical properties of abdominal aortic aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*, 1994; 20: 6-13.
 [9] Thubrikar M.J., et al. Mechanical properties of abdominal aortic aneurysm wall. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 2001; 25: 133-142.
 [10] Goodall S., et al. The association between venous structural alterations and biomechanical weakness in patients with abdominal aortic aneurysm. *Journal of Vascular Surgery*, 2002; 35: 937-942.
 [11] Vorp D.A., Raghavan M.L., Webster M.W. Mechanical wall stress in abdominal aortic aneurysm: influence of diameter. *Journal of Vascular Surgery*, 1998; 27: 632-639.

BADANIE BIOZGODNOŚCI KOMÓRKOWEJ IN VITRO NANOSTRUKTURALNYCH ELASTOMERÓW TERMOPLASTYCZNYCH DLA IMPLANTÓW TKANKI MIĘKKIEJ

M. EL FRAY*, M. PIĄTEK

POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA, INSTYTUT POLIMERÓW, ZAKŁAD BIOMATERIAŁÓW I TECHNOLOGII MIKROBIOLOGICZNYCH, UL. PUŁASKIEGO 10, 70-322 SZCZECIN, POLSKA

* E-MAIL: MIRFRAY@PS.PL

Streszczenie

Obiektem badań były nanostrukturalne elastomery termoplastyczne typu (A-B)_n zawierające segmenty giętkie pochodzące od dimeru kwasu linoleinowego (DLA) i segmenty sztywne zawierające poli(tereftalan butylenu) (PBT). Te nowe biomateriały proponowane są jako alternatywa dla elastomeru silikonowego w zastosowaniach na implanty piersi. Struktura, a tym samym właściwości kopolimerów zostały poddane modyfikacji wiązką szybkich elektronów. Stwierdzono, że kopolimer poddany działaniu dawki 100kGy wykazał lepszą proliferację komórek w porównaniu do materiału niemodyfikowanego i elastomeru silikonowego użytego jako materiał odniesienia. Promieniowanie jonizujące wpłynęło również pozytywnie na właściwości mechaniczne zwiększając o 100% wartość modułu Young'a w porównaniu do elastomeru silikonowego o jakości medycznej.

Słowa kluczowe: Elastomery termoplastyczne, biozgodność komórkowa in vitro, promieniowanie jonizujące [Inżynieria Biomateriałów, 81-84, (2008), 100-103]

IN VITRO CELL BIOCOMPATIBILITY OF NANOSTRUCTURED THERMOPLASTIC ELASTOMERS FOR SOFT TISSUE IMPLANTS

M. EL FRAY*, M. PIĄTEK

SZCZECIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, POLYMER INSTITUTE, DIVISION OF BIOMATERIALS AND MICROBIOLOGICAL TECHNOLOGIES, 10 PUŁASKIEGO STR., 70-322 SZCZECIN, POLAND

* E-MAIL: MIRFRAY@PS.PL

Abstract

Nanostructured multiblock thermoplastic elastomers of the (A-B)_n type with aliphatic segments from dimer of linoleic acid (DLA) and aromatic segments of poly(butylene terephthalate) (PBT) were investigated in this work. These new materials are proposed as an alternative to silicone elastomer for breast implants. Their structure, and thus properties were modified with e-beam radiation. It was found that polymer exposed to 100 kGy showed better cell proliferation as compared to unmodified material and to silicone elastomer used as reference material. E-beam radiation enhanced also mechanical properties by over 100% increase of Young's modulus as compared to medical grade silicone elastomer.

Keywords: Thermoplastic elastomers, in vitro cell biocompatibility, e-beam radiation.

[Engineering of Biomaterials, 81-84, (2008), 100-103]