

MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI ZMĘCZENIOWE HYBRYDOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH DO ZASTOSOWAŃ MEDYCZNYCH

BOŻENA KONIECZNA*, WOJCIECH ŚCIERSKI**,
STANISŁAW BŁĄŻEWICZ*

*AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA,
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I CERAMIKI,
KATEDRA BIOMATERIAŁÓW, 30-059 KRAKÓW, AL. MICKIEWICZA 30

**KATEDRA OTOLARYNGOLOGII ŚLĄSKIEJ AKADEMII MEDYCZNEJ,
ZABRZE

E-MAIL: BLAZEW@AGH.EDU.PL

Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki badań dotyczące otrzymywania i oceny biomechanicznej *in vitro* biomateriału w formie kompozytu dla zastosowania w laryngologii. Sztuczną tchawicę wykonano z kompozytu polimerowego wzmocnionego włóknem węglowym. Implant kompozytowy zaprojektowano i wykonano w formie kompozycji warstwowej, w której warstwa zewnętrzna składa się z biostabilnego terpolimeru składającego się z politetrafluoroetyleny, fluorku poliwinitylidenu i polipropylenu i włókien węglowych w formie tkaniny, a warstwa wewnętrzna zespolona z warstwą zewnętrzną składa się z krótkich włókien węglowych i polimeru. Implant w formie rurki został poddany mechanicznym testom statycznym i dynamicznym w warunkach *in vitro*. Mechaniczne właściwości sztucznej tchawicy zostały porównane z właściwościami tchawicy naturalnej owcy przyjętej jako model doświadczalny.

Słowa kluczowe: Implant tchawicy, materiał kompozytowy, właściwości zmęczeniowe, rekonstrukcja tchawicy

[*Inżynieria Biomateriałów*, 58-60,(2006),69-73]

Wprowadzenie

Rekonstrukcje tchawicy z wykorzystaniem obcego materiału napotykają na szereg problemów, w większości odnoszących się do odtworzenia złożonych funkcji pierwotnych. Laryngoplastyka wymaga stosowania materiału w sytuacji chorób wywołanych nowotworem bądź okaleczeniami. Zwężenie tchawicy jest najczęstszym przypadkiem jako następstwo intubacji i tracheotomii. Wśród innych przyczyn zwężenia tego organu można wymienić: uszkodzenia mechaniczne i chemiczne oraz nowotwory [1,2,3].

W celu zastąpienia usuniętej tkanki i odtworzenia pierwotnych funkcji tchawicy zostały opracowane różnorodne techniki. Leczenie stenozy tchawicy prowadzi się zarówno metodami alternatywnymi jak i radykalnymi. Leczenie radykalne polega na usunięciu chirurgicznym zwężonego odcinka tchawicy i zrekonstruowaniu brakującego segmentu (anastomoza wolnych końców), lub wypełnieniu go materiałami auto lub alogenicznymi. Ubytki tkankowe związane z częścią tracheotomią wymagają odpowiedniego uzupełnienia. Możliwe jest pokrycie miejsca pooperacyjnego perichondrium, tkanką chrzęstną bądź mięśniową, chociaż efekty tych sposobów są rzadko satysfakcjonujące. Niedogodnością tych sposobów są powstałe ubytki tkanki w miejscu pobrania, niewystarczająca ilość materiału do re-

FATIGUE MECHANICAL CHARACTERIZATION OF HYBRID COMPOSITE MATERIALS FOR MEDICAL PURPOSE

BOŻENA KONIECZNA*, WOJCIECH ŚCIERSKI**,
STANISŁAW BŁĄŻEWICZ*

*AGH-UST, FACULTY OF MATERIAL ENGINEERING AND CERAMICS,
DEPARTMENT OF BIOMATERIALS

30-059 KRAKOW, AL. MICKIEWICZA 30

**DEPARTMENT OF OTOLARYNGOLOGY
SILESIA MEDICAL UNIVERSITY, ZABRZE

E-MAIL: BLAZEW@UCI.AGH.EDU.PL

Abstract

The paper presents the results on manufacture and biomechanical evaluation *in vitro* of composite biomaterials used in laryngotracheal reconstructions. The new artificial trachea was prepared from fibers – based polymer composite. The composite implant was designed and prepared in the form of the layered fibrous composition in which the outer layer is composed of biostable terpolymer (polytetrafluoroethylene, polyvinylidene fluoride, and polypropylene), and carbon fibers mesh, and an inner layer integrally bonded to the outer is composed of a short carbon fibers and same polymer. The implant in the form of tube has been mechanically tested in static and dynamic conditions in simulated body solution. The mechanical properties of the artificial trachea has been compared to the properties of natural trachea of ovine chosen as an experimental model.

Keywords: Trachea implant, composite material, fatigue properties, tracheal reconstruction
[*Engineering of Biomaterials*, 58-60,(2006),69-73]

Introduction

Tracheal reconstructions using foreign material encountered several problems, in most cases related to restoring complex natural functions. Need for laryngoplasty results from different diseases, commonly attacking the trachea including tumor or injuries. Stenosis of the trachea occurs the most often as complications after intubation and tracheotomy. Among the other reasons of narrowing of this organ the following are being named: mechanical injuries, chemical damages, primary and metastasis tumors [1,2,3].

Various surgical techniques have been developed in order to replace the removed tissue and to restore the functions of the trachea. The treatment of the trachea stenosis includes both alternative and radical methods. The radical treatments consist of surgical excision of the narrowed segment followed by reconstruction of trachea (anastomosis of free ends) or filling of lost segment with use of auto or allogenic materials.

Tissue defects following partial tracheotomy require appropriate supplementation. It is possible to cover the postoperative site with perichondrium, cartilage or muscle tissues, however the results are rarely satisfactory.

Disadvantages of these methods are tissue defects in autologous material of origin site, insufficient quantity of material for reconstruction and prolonged operation. In the last decade there have been made trials with allogenic materials application in tracheal and larynx reconstructions such as Silastic, Teflon, Bioglass, hydroxyapatite and polyethylene [4-11].

konstrukcji i wydłużenia czasu trwania operacji. W ostatniej dekadzie wykonano próby z zastosowaniem materiałów syntetycznych takich jak Silastik, Teflon, bioszko, hydroksyapatyt i polietylen [4-11]. Badania nad możliwością wykorzystania materiałów alloplastycznych do rozwiązania niedogodności związanych z autograftami trwają. Wiadomo, że rekonstrukcje laryngologiczne powinny prowadzić do odtworzenia naturalnych warunków anatomicznych. Jest to możliwe przy założeniu, że zastosowany implant ma zbliżone cechy do zastępowanej tkanki, tzn. zachowuje odpowiedni kształt, sprężystość i jest biostabilny w długim okresie czasu.

Generalnie, problematyka dotycząca rekonstrukcji tchawicznych jest nadal otwarta, i takie zagadnienia jak infekcja, stenoza, odpowiednie złączenie protezy z tkanką, nie są jeszcze właściwie rozwiązane. Proces regeneracji tkanki w obrębie protezy powinien zachodzić w sposób zapewniający odtworzenie struktury pierwotnej. Takie warunki nie mogą zostać stworzone w obrębie tradycyjnego jednofazowego (metalicznego, ceramicznego, organicznego) materiału. Jak do tej pory rekonstrukcje tchawicy z wykorzystaniem tego typu biomateriału nie były w pełni udane z uwagi na pojawiające się lokalne infekcje, krwawienia, występującą stenozę oraz przemieszczenia implantu [12].

Wieloskładnikowe materiały kompozytowe, szczególnie zawierające jeden ze składników w formie włókien oraz osnowę polimerową stanowią grupę materiałów o nieograniczonej gamie możliwości formowania morfologii i właściwości, stąd wydają się być interesującą alternatywą wobec dotychczas wykorzystanych materiałów syntetycznych w omawianym zastosowaniu. Z tego względu autorzy niniejszej pracy podjęli próbę opracowania materiału kompozytowego, złożonego ze sprawdzonych we wcześniejszych badaniach biozgodnych składników, pozwalających na uzyskanie odpowiednich właściwości biologicznych i fizycznych implantu dla laryngologii. Przedstawione wyniki badań dotyczą otrzymywania i oceny wybranych właściwości materiału kompozytowego złożonego z włókien węglowych i terpolimeru (PTFE+PVDF+PE). Taki materiał został użyty do rekonstrukcji długiego wycinka tchawicy owcy, wybranej jako model doświadczalny z uwagi na podobieństwo rozmiarów, kształtu i elastyczności do tchawicy człowieka.

Materiały i metody

Próbki kompozytowe zostały wykonane z wykorzystaniem terpolimeru składającego się politetrafluoroetylen (PTFE, 57% wag.), fluorku poliwinilidenu (PVDF, 27% wag.) i polipropylenu (PP, 15.1 % wag) oraz dwóch typów włókien węglowych różniących się formą (tkanina węglowa, włóknina węglowa) oraz chemicznym stanem powierzchni. Składniki kompozytu były wcześniej badane w warunkach in vitro i in vivo [13, 14, 15]. Polimer charakteryzuje się stabilnością, jest nieresorbowalny w tkankach i nie wywołuje odpowiedzi typu ciała obcego. Dwa rodzaje włókien zostały wykorzystane w celu uzyskania odpowiedniej biofunkcyjności implantu wynikającej i jego funkcji biologicznych i mechanicznych. Wykorzystano następujące rodzaje włókien węglowych:

- tkanina węglowa T-300 (średnia średnica włókna – 8 mikrometrów, wytrzymałość na rozciąganie -3 GPa, moduł Younga 230 GPa)
- włóknina węglowa (średnia średnica włókna – 9 mikrometrów, wytrzymałość na rozciąganie -0.5 GPa, moduł Younga 90 GPa)
- terpolimer wykorzystany jako osnowa kompozytowa (Aldrich Company Inc., US, no cat.45, 458-3)

Próbki kompozytowe zostały wytworzone w formie dwóch zespolonych z sobą laminatów, różniących się swoją budową oraz właściwościami mechanicznymi i biologicz-

The search for alloplastic materials that solve the disadvantages of autografts continues, and it is known that reconstruction of the loss of laryngeal tissue requires recreation of natural anatomic conditions. This is possible only when the properties of the implant material are similar to that of natural tissue, i.e. the implant preserves the appropriate shape, elasticity and provides long-lasting biostability.

In general, the problems of tracheal replacements have not been solved in terms of routine freedom from leakage, infection, stenosis and firm bonding of the prosthesis with the host tissue. The tissue regeneration process around the prosthesis should form a composite acting in the same manner as the original structure. There is no traditional, single-phase material (metallic, ceramic or organic) known so far that could fulfill all of these requirements. Tracheal reconstruction with the use of prostheses have met with limited success because of local infection, hemorrhage, luminal stenosis and prosthesis displacement [12]. Heterogeneous composite materials, especially those based on fibrous forms as components of organic matrix provide an unlimited variety of morphologies and properties and seem to be suitable candidates for biomaterials as tracheal replacement. For this reason the authors attempted to pursue the possibility of developing a composite materials that would combine the biological and physical properties of its components, to date constituting the object of independent research.

The present work pertains to the manufacture and assessment of selected properties of composite material consisted of carbon fibers and terpolymer (PTFE+PVDF+ PE). The composite has been used in the reconstruction of long section of the ovine trachea. The ovine trachea was chosen as the experimental model as its size, shape and flexibility are similar to those of human trachea.

Materials and methods

Composite samples have been prepared using terpolymer consisting of polytetrafluoroethylene, (PTFE, 57.6%wt), polyvinylidene fluoride, (PVDF, 27.3%) and PP polypropylene, (PP, 15.1%), and two type of carbon fibers differing in their form (carbon tissue, carbon unwoven fabric) and chemical surface state.

The components were earlier biologically tested in vitro and in vivo [13, 14, 15]. The resin used is stable, insoluble in tissue and elicits virtually no foreign body response.

Two types of fibers were used in order to achieve functional implant resulting from its biological and mechanical role in organism. There have been used the following type of carbon fibers:

- carbon tissue T-300 (mean diameter of filament -8 μm ., tensile strength - 3 GPa, Young's. Modulus 230 GPa
- carbon felt (unwoven fabric)- (mean diameter of filament- 9 μm ., tensile strength - 0.5 GPa, Youngs modulus- 90 GPa.

Terpolymer form Aldrich Chemical Company Inc, USA (No cat 45,458-3) was used as a matrix of the composite samples. The composite samples were prepared in the form of two integrally bonded laminates differing in their structure, mechanical and biological properties.

Carbon fibres in the form of unwoven fabric and woven fabrics were immersed in liquid resin solution followed by drying process to remove the solvent. The drying process took place in a vacuum chamber for 24 hours, at 50 °C. The prepreg reinforced with carbon felt had a resin content of approximately 70 % by volume and thickness of 0.3 mm, while the prepreg reinforced with carbon tissue contained 50 % by volume of polymer. The final prepregs in the form of thin sheets of fibre- reinforced terpolymer were then used to fabricate two - layer composite. Due to thermoplastic properties

nymi. Laminaty zostały wykonane w następujący sposób : włókna węglowe w formie tkaniny nasycone zostały roztworem polimeru i następnie poddane zostały suszeniu celem usunięcia nadmiaru rozpuszczalnika. Suszenie prowadzono w komorze próżniowej w temp. 50 °C, w czasie 24 godzin. Laminat zawierający włókninę węglową, o grubości około 0.3 mm, zawierał około 70 % objętościowych polimeru, natomiast wykonany z tkaniny węglowej zawierał około 50 % polimeru. Wytworzone w ten sposób prepregi w formie cienkich laminatów złożonych z włókien węglowych i terpolimeru zostały użyte do wykonania dwuwarstwowego kompozytu. Dzięki termoplastycznym właściwościom osnowy ostateczny kształt kompozytu odpowiadający tchawicy owcy uzyskiwano poprzez ciśnieniowe łączenie obu laminatów w ogrzewanej formie. Formowanie prowadzono przy ciśnieniu około 0.07 N/cm². Ciśnienie na podanym poziomie utrzymywano w czasie 30 minut, po czym formę chłodzono do temperatury pokojowej. W celu określenia podstawowych charakterystyk mechanicznych próbki poddane testom statycznym w próbie rozciągania i testom dynamicznym. Pomiary dynamiczne prowadzono na próbkach kompozytowych w formie rurek w temperaturze 37 °C, w płynie izotonicznym. Testy te prowadzono w układzie rozciąganie- rozciąganie, kontrolując wartości ekstremalne amplitudy siły. Każda próbka była poddawana 20 000 cykli osiowego rozciągania na różnym poziomie siły z częstotliwością 0.04 Hz. Po każdej takiej próbie próbki były poddawane kolejnej próbie rozciągania do zniszczenia w próbie statycznej. Otrzymaną wartość siły niszczącej porównywano z wartością siły niszczącej przed testem dynamicznym. Wszystkie badania mechaniczne próbkę kompozytowych oraz naturalnej tchawicy owcy prowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick 1435. Charakterystyka mechaniczna naturalnej tkanki pobranej z tchawicy jak i całej tchawicy porównywano z parametrami mechanicznymi opracowanych kompozytów.

Wyniki badań

Charakterystyka mechaniczna protezy w teście rozciągania statycznego pokazana jest na RYSUNKU 1. Jak wynika z tego rysunku poprzez specyficzny układ włókien w polimerowej osnowie (laminaty zawierają wiązki włókien ułożone względem siebie pod kątem 45 °) wartości odkształcenia protezy przy małej wartości siły są porównywalne z wartością odpowiadającą naturalnej tchawicy; wyznaczone odkształcenia zniszczenia naturalnej tchawicy wynosi 18.6 % (TABELA 1). Wartość siły niszczącej protezy jest wyraźnie wyższa niż określona dla tchawicy naturalnej.

RYSUNEK 2 przedstawia przykład widma cyklicznej siły

Siła Force N	Osiowa deformacja odwracalna Axial reversible deformation [%]	Prostopadła deformacja odwracalna Perpendicular reversible deformation [%]
5	6,7+/- 0.6	2.0+/-0.1
10	8,7+/-1.1	4.2+/-0.7
20	12.1 +/-1.7	6.3+/-0.6
67	18.6+/-1.9 (Niszczenie / Rupture)	

TAB.1. Charakterystyka mechaniczna tchawicy owcy wyznaczona wzdłuż osi i prostopadle do osi rurki.

TAB.1. Mechanical characteristic of total ovine trachea measured along the axis and perpendicular to the tube axis.

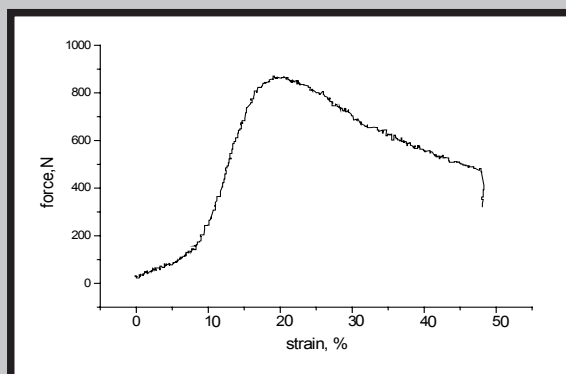
of the matrix the final form of composite was joint together by compression molding in a heated press. Compression molding was accomplished by placing two laminates into a die matched to the natural shape of trachea. The stacked lay-up was under a pressure of approximately 0.07 N/cm², at about 80°C. Pressure and temperature was maintained for 30 minutes, followed by cooling to room temperature before releasing the pressure and removing the laminate from the die. The samples of composite were investigated in tensile static and dynamic modes to determine their fundamental mechanical characteristic and fatigue properties. Fatigue measurements were realized on the composite samples prepared in the form of tubes, at 37 °C in isotonic solution. Dynamic testing was conducted in the force – control mode (tensile- tensile test). The samples were uniaxially loaded a determined number of cycles (20 000) for various applied-force levels, at a loading frequency of 0.04 Hz. After such a test each sample was subjected to static tensile test to rupture, and rupture force was compared to the value of force for as-received sample (before dynamic test). The evaluation of mechanical properties of composites and natural trachea taken from ovine were conducted using the test machine - Zwick 1435. The mechanical characteristics of total natural trachea were compared to composite prosthesis parameters. The composite implants were used in reconstruction of 3 cm long section of the trachea of ovine.

Results

The mechanical characteristics of the prosthesis in static tensile test is shown in the FIG.1. As it indicates from this figure due to specific arrangement of the fiber ply in a polymer matrix (the laminates contain 45–deg plies with respect to the prosthesis axis) the values of the strains under low level of force are comparable to natural trachea; the estimated strain to failure of natural trachea is about 18.6%, (see TABLE 1). Its tensile rupture force is distinctly higher than that determined for natural trachea of ovine.

FIGURE 2 presents an example of dynamic loading in tensile- tensile test. In this case the sample was loaded with the tensile force ranging from 70 to 160 N to maximum of 20 000 cycles in isotonic solution at 37 °C. Another samples were subjected to dynamic test with maximum of force amplitude of 40N, 50N and 60 N. None of the samples has been failed during these tests. Subsequently, after such tests, the samples were subjected to static tensile examination.

The results are gathered in the FIG.3. The data illustrate the changes of failure force of composite prosthesis sub-



RYS.1. Statyczna charakterystyka mechaniczna kompozytowej protezy tchawicy.

FIG.1. Static mechanical characteristics of composite tracheal prosthesis.

rozciągającej protezę w teście rozciąganie- rozciąganie. W tym przypadku proteza obciążana była siłą rozciągającą w zakresie 70 do 160 N, do 20 000 cykli w roztworze izotonicznym w 37°C. Inne próbki kompozytowe poddane zostały badaniom dynamicznym w podobnych warunkach, zmieniając poziom wartości maksimum amplitudy, odpowiednio 40N, 50N i 60N. Żadna z badanych próbek nie uległa zniszczeniu w trakcie tych badań. Następnie, po przeprowadzonych badaniach dynamicznych próbki były niszczone w próbie rozciągania statycznego.

Rezultaty badań zebrane są na rysunku 3. Wyniki ilustrują zmiany siły zrywającej kompozytową protezę poddaną 20 000 rozciągających cykli przy różnym poziomie wartości maksimum amplitudy

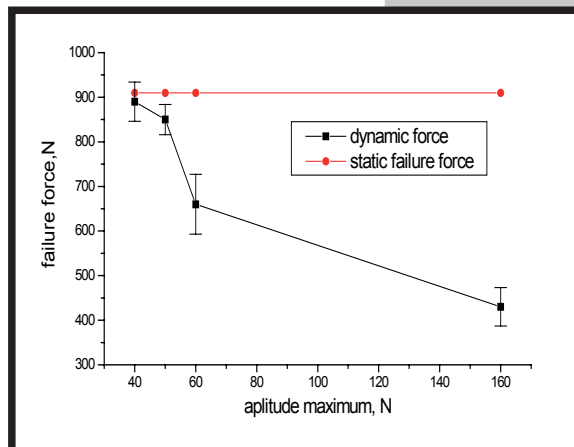
Pokazany na rysunku poziom siły statycznej odpowiada wartości protezy przed testem zmęczeniowym. Jak to wynika z przebiegu tych zmian, protezy obciążane dynamicznie siłą o maksimum amplitudy poniżej 50N zachowywały wartości siły zrywającej zbliżonej do wartości przez badaniami zmęczeniowymi (około 900 N). Wskazuje to na istotny wpływ obciążeń dynamicznych na starzenie się protezy, jednakże jedynie dla wysokich wartości maksimum amplitudy. Biorąc jednak pod uwagę wartości siły zrywającej naturalną tchawicę owcy (około 67N) oraz wartość dynamicznych obciążeń nie powodujących zmian właściwości mechanicznych protezy (50N) można założyć, że proteza ma wystarczającą wytrzymałość zmęczeniową dla proponowanego zastosowania.

Wnioski

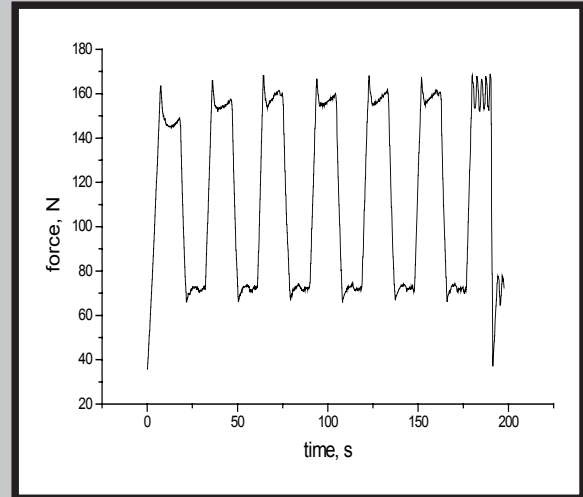
W pracy wykazano, że w zakresie niewielkich odkształceń badany kompozytowy materiał ma zbliżoną charakterystykę mechaniczną do charakterystyki naturalnej tchawicy owcy przyjętej jako model doświadczalny. Zmęczeniowe testy mechaniczne in vitro wykazały istotne różnice charakterystyki mechanicznej jedynie w zakresie stosowania wysokich wartości naprężeń rozciągających. Badania prowadzone w warunkach obciążeń dynamicznych do poziomu 75% wartości naprężenia niszczącego naturalną tchawicę nie wykazały istotnych zmian po 20 000 cykli (135 godzin pracy) w 37°C, w płynie izotonicznym. Ocena laboratoryjna opracowanej kompozytowej protezy tchawicy wykazała, że jej parametry fizyczne odpowiadają parametrom tchawicy naturalnej.

Podziękowania

Przeprowadzone badania były częściowo finansowane w ramach badań statutowych Akademii Górniczo – Hutniczej, Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, projekt nr. 11.11.160.116.



RYS.3. Zmiany wytrzymałości na rozciąganie protezy tchawicy po testach dynamicznych przy różnym poziomie maksimum siły cyklicznej.
FIG.3. Variation of tensile strength of tracheal prosthesis after dynamic tests at different level of amplitude maximum force.



RYS.2. Widmo obciążeń dynamicznych protezy w 37°C w SBF.
FIG.2. Spectrum of dynamic loading of prosthesis at 37°C in SBF.

jected to 20 000 tensile cycles at various levels of amplitudes. Static failure force shown in the figure corresponds to the value of prosthesis before dynamic fatigue testing. As it indicates from the above figure only the samples dynamically loaded below 50 N (amplitude maximum) behaved their failure force similar to the sample before testing (about 900N). Thus, changes in the composite prosthesis caused by dynamic force are significant only for higher level of force. However, talking into account the value of failure force of natural trachea (about 67N) and the value of amplitude force having no effect upon the ultimate force (50N) it seems that the prostheses studied are strong enough to be used in biological test.

Conclusions

It was found that for the low level of applied forces the investigated composite material has mechanical characteristics close to the natural trachea of the sheep taken as an experimental model. In vitro fatigue mechanical tests revealed distinct changes in mechanical characteristics only for high level of tensile stresses. The study of fatigue parameters under the level of 75% rupture force of natural trachea revealed no significant changes after 20 000 mechanical cycles (135 hours), at 37 °C, in isotonic solution. The laboratory assessment of the developed composite tracheal prosthesis indicated its meeting the physical demands resulted from the properties of natural trachea.

Acknowledgements

Financial support for this research in part was provided by AGH University of Science and Technology, Faculty of Materials Engineering and Ceramics, Cracow, project no. 11.11.160.116.

Piśmiennictwo

- [1] Scierski, W., Namysłowski, G., Błażewicz, S., Pilch J., Błażewicz M., Konieczna B.: New composite implant for tracheal reconstruction – preliminary study, *Otolaryngologia Polska*, LVIII,4, 2004
- [2] Vergona, J.M., Costes F., Polio J.C.: Efficacy and tolerance of a new silicone stent for the treatment of benign tracheal stenosis, *Chest*, 118,422-426,2000
- [3] Otto, T., Chirurgia zwiężeń tchawicy, *Pol.Tyg.Lek.*, 40-44,7-9, 1995
- [4] Flint, P., Corio, R., Cummings, C.: Comparison of soft tissue response in rabbits following laryngeal implantation with hydroxyapatite, silicon rubber and teflon, *Ann-Otol-Rhinol-Laryngol.*, May, 106 (5): 399 – 407, 1997
- [5] Hunsaker, D., Martin, P., Allergic reaction to solid silicone implant in medical thyroplasty. *Otolaryngol.head. Neck, Surg. Dec*:113, 6:782-4, 1995
- [6] Righi, P., Wilson, R., Gluckman, I., Thyroplasty using a silicone elastomer implant. *Otolaryngol.Clin.North.Am*, Apr.28(2), 309-16, 1995
- [7] Błażewicz, S., Pamula, E., Malinski, M., Pilch, J., Bielecki, I.: Hybrid composite implants in laryngology, *Proc.Conf.Biotechnologies and Biomaterials 2000*, Wyd.Oddz.PAN, Krakow, Polska, 2000
- [8] Woo, P.: Laryngeal framework reconstruction with miniplates. *Ann-Otol-RhinolLaryngol. Oct.99 (10 Pt1)*; 772-7, 1990

References

- [9] Haliloglu, T., Onar, V., Yildirim, G., Sapti, T., Savci, N.: Tracheal reconstruction with porous high-density polyethylene tracheal prosthesis, *Am. Otol. Rhinol. Laryngol.* 109, 981-987, 2000
- [10] Coshman, S., Simpson C.B., McGuff H.S., Soft tissue of the rabbit larynx to Gore-Tex, *Ann.Otol.Rhinol Laryngol.* 2002, Nov, 111,11, 977-82
- [11] Delaere, P., Blondell, M., Hermans, M., Guelinck, P., Feenstra, L.: Use of composite fascial carrier for laryngotracheal reconstruction. *Ann.Otol.Rhinol Laryngol.* 106:175-180, 1997
- [12] Masayoshi, T., Tatsuo, N., Yasumichi, Y., Tetsuya, K., Porous-type Tracheal Prosthesis sealed with Collagen sponge, *Ann,Thorac Surg*, 64,965,1997
- [13] Czajkowska B., Błażewicz M., Phagocytosis of chemically modified carbon materials, *Biomaterials*, 18,(1997), 69-74
- [14] Pamula E., Błażewicz M., Homyszyn M., Polymer – carbon composite for guided tissue regeneration, *Engineering of Biomaterials*, edited by Polish Society for Biomaterials 10,(3), 2000,[3-9]
- [15] Kus W.M., Gorecki A., Strzelczyk P., Swiader P., Carbon fiber scaffolds in the treatment of cartilage lesions, *Ann Transplant* 1999,4,3-4,101-2

BADANIA REOLOGICZNE ROZTWORÓW PRZĘDZALNICZYCH I FORMOWANIE WŁÓKIEŃ Z POLIALKOHOLU WINYLOWEGO

MACIEJ BOGUŃ, TERESA MIKOŁAJCZYK, MAGDALENA OLEJNIK

KATEDRA WŁÓKIEŃ SZTUCZNYCH,
WYDZIAŁ INŻYNIERII I MARKETINGU TEKSTYLÓW,
POLITECHNIKA ŁÓDZKA
E-MAIL: MACIEK.BOGUN@WP.PL, MIKOLTER@MAIL.P.LODZ.PL

Streszczenie

Przeprowadzono badania właściwości reologicznych roztworów przędzalniczych polialkoholu winylowego (PVA) w wodzie. Otrzymany 20% roztwór polimeru wykazywał dobrą przędlność oraz podatność na zestalanie. Badania potwierdziły możliwość formowania włókien z PVA metodą z roztworu na mokro.

Słowa kluczowe: PVA, formowanie z roztworu na mokro, badania reologiczne
[*Inżynieria Biomateriałów*, 58-60,(2006),73-75]

Wstęp

Polialkohol winylowy (PVA) jest jednym z wielu biodegradowalnych i biogodnych polimerów hydrofilowych wykorzystywanych w medycynie. Znalazł on już zastosowanie m.in. w implantologii [1], okulistyce [2], przy wytwarzaniu sztucznych narządów [3], jak również jako nośnik leków [4]. Nowym zastosowaniem tego polimeru może stać się wytwarzanie porowatych nanokompozytów otrzymywanych na bazie włókien formowanych metodą z roztworu na mokro. Metoda ta bowiem w przeciwieństwie do innych klasycznych metod formowania włókien, jak również nowoczesnej metody elektrospiningu zapewnia odpowiednie sterowanie parametrami procesowymi, w celu uzyskania zamierzonej, powtarzalnej struktury i właściwości włókien.

RHEOLOGICAL EXAMINATIONS OF SPINNING SOLUTIONS AND FIBRE FORMATION FROM POLY(VINYL ALCOHOL)

MACIEJ BOGUŃ, TERESA MIKOŁAJCZYK, MAGDALENA OLEJNIK

DEPARTMENT OF MAN-MADE FIBERS. FACULTY OF TEXTILE ENGINEERING AND MARKETING, TECHNICAL UNIVERSITY OF ŁÓDŹ
E-MAIL: MACIEK.BOGUN@WP.PL, MIKOLTER@MAIL.P.LODZ.PL

Abstract

The rheological properties of spinning solutions of poly(vinyl alcohol) (PVA) in water have been examined. A 20% polymer solution showed good spinning capability and susceptibility to solidification. The performed tests have confirmed the possibility of fibre formation from PVA by the wet process from solution.

Key words: PVA, wet spinning from solution, rheological measurements

[*Engineering of Biomaterials*, 58-60,(2006),73-75]

Introduction

Poly(vinyl alcohol) (PVA) is one of the many biodegradable and biocompatible hydrophilic polymers utilised in medicine. This polymer has already found its application among others in implantation [1], ophthalmology [2], artificial organ preparation [3] as well as a carrier of medicaments [4]. A new application of PVA can be its use for the production of porous nanocomposites in the form of fibres spun by the wet process from solution. This process, as opposed to other conventional methods of fibre spinning as well as the modern method of electro-spinning, allows one to properly control process parameters in order to obtain required, reproducible fibre structure and properties. This method makes it also possible to produce fibres with different chemical compositions and molecular weights, which show the anisotropy of properties, similarly as natural tissues whose properties are