

CHARAKTERYSTYKA MORFOMETRYCZNA WŁÓKIEN WĘGLOWYCH KOMPOZYTÓW WĘGLOWYCH IMPLANTOWANYCH ŚRÓDKOSTNIE KRÓLIKOM PO OKRESIE 22 TYGODNIOWYM

GRZEGORZ BAJOR*, EWA ZEMBALA-NOŻYŃSKA**,
JERZY NOŻYŃSKI***, WOJCIECH ŚCIERSKI****,
ADAM GRZYBOWSKI***, DANIEL SABAT**

*KATEDRA I KLINIKA CHIRURGII DZIECIĘCEJ ŚLĄSKIEJ AKADEMII
MEDYCZNEJ W KATOWICACH

**KATEDRA I ZAKŁAD PATOMORFOLOGII W ZABRZU ŚLĄSKIEJ
AKADEMII MEDYCZNEJ W KATOWICACH

***ŚLĄSKIE CENTRUM CHOROÓB SERCA W ZABRZU

****KATEDRA I KLINIKA OTOLARYNGOLOGII W ZABRZU ŚLĄSKIEJ
AKADEMII MEDYCZNEJ W KATOWICACH

Wprowadzenie

Wieloletnie badania nad właściwościami biologicznymi materiałów węglowych wykazały, że charakteryzują się biogodnością. W oparciu o wcześniej prowadzone badania nad kompozytami węglowymi prócz szeregu ich zalet stwierdzono, że mają wady w postaci kruchości, łamliwości. Włókna węglowe modyfikowane powierzchniowo lub wprowadzone do osnowy stanowiącej element wzmacniający tworzą trwalszy materiał kompozytowy.

Z tego powodu jako polimeru tworzącego osnowę użyto żywicy epoksydowej. Dodatkowo poprawę właściwości tego kompozytu uzyskano poprzez pokrycie go materiałem bioaktywnym w postaci hydroksyapatytu czy pirowęgla. Celem badania była ocena procesu biodegradacji włókien węglowych implantowanych w postaci śródszpikowego zespolenia kości długiej w zależności od modyfikacji biomateriału.

Materiał i metodyka

Wykonano śródszpikową implantację królikom sztyftów będących implantami:

- kompozytu włókna węglowego z osnową epoksydową i hydroksyapatytem (HAP) (C-C-Ep-HAP),
- kompozytu węgiel- węgiel pokryte warstwą hydroksyapatytu (HAP) (C-C-HAP),
- kompozytu węgiel- węgiel-pirowęgiel pokryte warstwą hydroksyapatytu (C-Cp-HAP),
- kompozytu węgiel- węgiel (C-C).

Po 22 tygodniach zwierzęta usypiano, zaś z fragmentów kości i implantu wykonywano preparaty histologiczne które analizowano, wykorzystując system analizy obrazu Quantimet Leica. Oceniono morfometrycznie: 1. wymiar najkrótszy odpowiadający szerokości włókien węglowych, 2. obli-

MORPHOMETRIC PROFILE OF CARBON FIBRE / CARBON COMPOSITES IMPLANTED INTO BONES IN RABBITS AFTER A PERIOD OF 22 WEEKS

GRZEGORZ BAJOR*, EWA ZEMBALA-NOŻYŃSKA**,
JERZY NOŻYŃSKI***, WOJCIECH ŚCIERSKI****,
ADAM GRZYBOWSKI***, DANIEL SABAT**

*CHAIR AND CLINIC OF PEDIATRIC SURGERY, SILESIA MEDICAL
UNIVERSITY IN KATOWICE, POLAND

**CHAIR AND DEPARTMENT OF PATHOMORPHOLOGY, SILESIA
MEDICAL UNIVERSITY IN KATOWICE, ZABRZE, POLAND

***SILESIA CENTER FOR HEART DISEASES, ZABRZE, POLAND,

****CHAIR AND DEPARTMENT OF OTORHINOLARYNGOLOGY,
SILESIA MEDICAL UNIVERSITY IN KATOWICE, ZABRZE, POLAND

Introduction

Many studies on the biological properties of carbon materials showed that they are biocompatible. Referring to the earlier studies of carbon composites, it was found that apart from many advantages, they also have faults of being fragile and breakable. Carbon fibres modified superficially or introduced into the wrap being a strengthening element make much more durable composite material. Therefore epoxide resin has been used as a polymer to make a wrap. Additionally, an improvement of composite properties was achieved by covering it with bioactive material in the form of hydroxyapatite or pyrocarbon. The aim of the study was to evaluate a biodegradation process of carbon fibres implanted into bone marrow as an anastomosis in the long bone depending on biomaterial modification.

Material and method

Implantation of pins into rabbit's bone marrow was performed. The pins were implants of:

- carbon fibre composite with epoxide wrap and hydroxyapatite (HAP) (C-C-Ep-HAP),
- carbon- carbon composite covered with a layer of hydroxyapatite (HAP) (C-C-HAP),
- carbon- carbon- pyrocarbon covered with a layer of hydroxyapatite (C-CpHAP),
- carbon-carbon composite (C-C)

After 22 weeks the animals were sacrificed under general anaesthesia, then bone and implant fragments were routinely histologically processed for further microscopical image analysis with Quantimet Leica. This analysis included: 1. the breadth responding to the shortest diameter of carbon fibres, 2. curve length of carbon fibres, 3. fullness factor coefficient, 4. mean gray level reflecting density of the material - optic density. The results were analyzed statistically.

czoną szerokość włókien węglowych, 3. współczynnik wypełnienia, 4. średni stopień szarości odzwierciedlający gęstość materiału - gęstość optyczną. Wyniki opracowano statystycznie.

Biomateriał	Liczba	Mediana	Minimum	Maksimum	Kwartył dolny	Kwartył górny
Biomaterial	Number	Median	Minimum	Maximum	Lower quartile	Upper quartile
Wymiar najkrótszy / Breadth						
C-C-Ep-HAP	250	1.538	0.385	39.231	0.769	4.231
C-C-HAP	617	1.923	0.385	81.923	1.154	5.385
C-Cp-HAP	193	1.923	0.385	41.154	0.769	5.385
C-C	128	3.462	0.385	75.385	0.769	8.2695
Obliczona szerokość / Curve width						
C-C-Ep-HAP	251	1.154	0.385	10.769	0.769	2.692
C-C-HAP	618	1.538	0.385	13.077	0.769	2.692
C-Cp-HAP	194	1.154	0.385	10.385	0.769	2.692
C-C	129	2.308	0.385	17.692	0.769	5.385
Współczynnik wypełnienia / Fullness factor						
C-C-Ep-HAP	251	0.964	0.533	1.371	0.853	1.087
C-C-HAP	618	0.9555	0.524	1.371	0.854	1.047
C-Cp-HAP	194	0.938	0.604	1.371	0.818	1.061
C-C	129	0.908	0.591	1.25	0.808	1.015
Średni stopień szarości / Mean grey level						
C-C-Ep-HAP	251	44.760	22.000	97.571	40.000	52.500
C-C-HAP	618	46.507	22.555	59.705	39.999	51.000
C-Cp-HAP	194	39.081	19.909	57.943	33.230	43.784
C-C	129	42.555	18.333	54.777	38.865	46.037

TABELA 1. Charakterystyka morfometryczna włókien kompozytów węglowych implantowanych śródkostnie królikom po 22 tygodniach.
TABLE 1. Morphometrical profile of fibres in carbon composites implanted into bones in rabbits.

Results

The results are compared in the TABLES (1-3). The breadth and curve width had the shortest range and median value in the group of composites with epoxide wrap, the biggest in the group of carbon-carbon composite. The fullness factor close to 1 showed the lowest number of resorptive (corrosion) irregularities in cases of epoxide wrap, the biggest in cases of carbon-carbon composite. The group with epoxide wrap and HAP and the group with HAP had lower optic density in comparison to C-C or C-Cp-HAP composite. Addition of pyrocarbon in CCp-HAP composite, despite a density increase did not influence the width of fibres. The fullness factor indicated the smallest number of circumference irregularities in the group C-C-Ep-HAP, the smallest in the group C-C, mean gray level reflecting biomaterial density showed significant and strong correlation to fullness only in the groups C-C-E-HAP and C-C. Biomaterial with epoxide wrap had strong positive correlation ($r = 0.419$), while carbon-carbon composite showed strong negative correlation ($r = 0.734$).

Porównywane grupy	Wymiar najkrótszy	Obliczona szerokość	Współczynnik wypełnienia	Średni stopień szarości
Compared groups	Breadth	Curve width	Fullness factor	Mean grey level
C-C-Ep-HAP versus C-C-HAP	0.15	0.01	0.3	0.8
C-C-Ep-HAP versus C-Cp-HAP	0.62	0.062	0.3	0.000001
C-C-Ep-HAP versus C-C	0.002	0.00021	0.009	0.0001
C-C-HAP versus C-Cp-HAP	0.55	0.065	0.3	0.0001
C-C-HAP versus C-C	0.01	0.009	0.012	0.000002
C-Cp-HAP versus C-C	0.015	0.0006	0.3	0.0003

TABELA 2. Porównanie wartości morfometrycznych włókien kompozytów węglowych implantowanych śródkostnie królikom po 22 tygodniach.

TABLE 2. The comparison of morphometric values of fibres in carbon composites implanted into bones in rabbits after 22 weeks.

Parametr Parameter	Biomateriał Biomaterial							
	C-C-Ep-HAP		C-C-HAP		C-Cp-HAP		C-C	
	Spearman R	p	Spearman R	p	Spearman R	p	Spearman R	p
Wymiar najkrótszy Breadth	-0.464	10^{-9}	-0.038	0.33	0.064	0.38	-0.015	0.98
Obliczona szerokość Curve width	-0.369	10^{-6}	-0.052	0.19	0.083	0.25	-0.580	0.56
Współczynnik wypełnienia Fullness factor	0.419	10^{-9}	0.059	0.14	-0.056	0.45	-0.734	0.46

TABELA 3. Korelacja średniego stopnia szarości z wartościami morfometrycznymi włókien kompozytów węglowych implantowanych śródkostnie królikom po 22 tygodniach.

TABLE 3. Correlation of mean grey level with other morphometric values of fibres in carbon composites implanted into bones in rabbits after 22 weeks.

Wyniki zestawiono w TABELACH(1-3). Wymiar najkrótszy i obliczona szerokość posiadały najmniejszy zakres zmienności i wartość przeciętną (medianę) w grupie kompozytu z osnową epoksydową, największą w grupie kompozytu węgiel-węgiel. Współczynnik wypełnienia bliski jedności wskazywał na najmniej wżerów resorpcyjnych w przypadku zastosowania osnowy epoksydowej, największą zaś w przypadku kompozytu węgiel-węgiel. Grupa z osnową epoksydową i HAP oraz grupa z HAP cechowały się mniejszą gęstością optyczną, w porównaniu z kompozytem C-C lub C-Cp-HAP. Dodatek pirowęgla w kompozycie CCp-HAP pomimo zwiększenia gęstości nie wpływał na szerokość włókien. Współczynnik wypełnienia wskazywał na najmniejszą ilość nieregularności obwodu w grupie C-C-Ep-HAP, największą w grupie C-C. Średni stopień szarości, odzwierciedlający gęstość biomateriału wykazywał istotną i silną korelację z współczynnikiem wypełnienia jedynie w grupach C-C-Ep-HAP oraz C-C. Biomateriały z osnową epoksydową charakteryzowały się korelacją dodatnią ($r = 0,419$), z kolei kompozyt węgiel-węgiel ujawniał silną korelację ujemną ($r = -0,734$).

Dyskusja

Dwudziestodwutygodniowa obserwacja implantowanych śródszpikowo modyfikowanych biomateriałów węglowych wskazała na podobieństwa jak i różnice w obrębie parametrów morfometrycznych. Zarówno wymiar najkrótszy jak i obliczona szerokość włókien węglowych modyfikowanych warstwa epoksydową i HAP, pirowęgłem i HAP, samym HAP posiadały blisko dwukrotnie mniejszą wartość niż włókna kompozytu niemodyfikowanego (C-C). Podobną zależność wykazywał współczynnik wypełnienia, aczkolwiek podobnie do kompozytu C-C zachowywał się C-C-HAP. Wyniki badań morfometrycznych w znacznej mierze odpowiadają wcześniejszym obserwacjom w mikroskopie skaningowym [1]. Najmniejszą liczbę nierówności, wżerów wykazywał C-C-Ep-HAP, co znajduje odzwierciedlenie w cytowanych badaniach [1] Zwraca uwagę fakt, że stosunkowo "wąskie" włókna węglowe modyfikowanych kompozytów, za wyjątkiem C-Cp-HAP posiadały niższą gęstość optyczną niż włókna szersze, niemodyfikowane kompozytu C-C. W porównaniu z włókniną implantowana w ubytki kości gąbczastej zaobserwowano że wszystkie rodzaje włókien implantowanych śródszpikowo, w oś kości długiej wykazują mniejszą gęstość optyczną [2]. Odpowiada to obserwowanemu wcześniej rozpułchnieniu włókien węglowych [3]. Z kolei wymiar najkrótszy i szerokość włókien implantowanych śródszpikowo wykazują wartości blisko pięciokrotnie mniejsze niż włóknina węglowa implantowana w ubytki kostne w analogicznym okresie czasu.[4] Wyniki poprzednich badań [3] mogą sugerować, że znaczne zmniejszenie szerokości włókien węglowych niezależnie od ich modyfikacji może być skutkiem uciśnięcia przez nowo wytwarzającą się tkankę kostną obrastającą implant, to z kolei może warunkować powstawanie nieregularności obwodu.

Wniosek

Zastosowanie osnowy epoksydowej kompozytu węgiel-węgiel HAP poprawia charakterystykę jego biodegradacji.

Discussion

Twenty-two-week observation of the modified carbon biomaterials implanted into bone showed indicated both similarities and differences within morphometric parameters. Both the breadth and curve width of the carbon fibres modified with a thin epoxide wrap and HAP, pyrocarbon and HAP, sole HAP had two times lower value than the fibres of unmodified composite (C-C). Similar relation occurred in filling coefficient, however C-C-HAP behaved similarly to C-C-HAP. The results of morphometric studies respond in great extend to earlier observations in a scanning microscope [1]. The smallest number of irregularities, corrosion pits was present in C-C-Ep-HAP, which is reflected in the quoted studies. [1]. The attention drawing fact was that relatively "narrow" carbon fibres of the modified composites, except for C-Cp-HAP had lower optical density than the broader, unmodified fibres of C-C composite. In comparison with the fibrous material implanted into defects in spongy bone, it was observed that that all kinds of fibres implanted into bone, in the axis of long bone show lower optic density [2]. It answers the earlier observed softening of carbon fibres [3]. Next, the breadth and curve width of the fibres implanted into bone show almost five times smaller values than carbon fibre implanted into experimental bone defects in a similar period of time [4]. The results of previous studies [3] can imply that significant decrease in carbon fibre width irrespective of their modifications can be an effect of compression by newly developed bone tissue growing around the implant, which can create irregularities of the circumference.

Conclusion

Application of the epoxide wrap of the carbon-carbon HAP composite improves the profile of biodegradation.

Piśmiennictwo

References

- [1] Bajor G., Błażewicz M., Bohosiewicz J., Chłopek J., Stoch A.: "Badania powierzchni kompozytów węglowych pokrytych hydroksyapatytem po implantacji" Inżynieria Biomateriałów 1998; 3: 21-27.
- [2] Zembala-Nożyńska E., Nożyński J., Sabat D., Dąbrowka K., Cieślak T., Szczurek Z.: "Analiza średniego stopnia szarości w procesie biodegradacji włókien węglowych" Inżynieria Biomateriałów 2002; 20: 15-20.
- [3] Bajor G., Paszenda Z., Bohosiewicz J., Marciniak J.: "Badania kompozytu węglowego w mikroskopie skaningowym po wszczepieniu do tkanki kostnej zwierząt". Inżynieria Biomateriałów 1999; 7-8: 37-43.
- [4] Zembala-Nożyńska E., Nożyński J., Sabat D., Dąbrowka K., Cieślak T., Szczurek Z.: "Statystyczna analiza parametrów geometrycznych włókien węglowych użytych do wypełnień ubytków tkanki kostnej" Inżynieria Biomateriałów 2002; 20: 21-29.