

CHARAKTERYSTYKA MORFOMETRYCZNA WŁÓKIEN WĘGLOWYCH KOMPOZYTÓW WĘGLO- WYCH ZAWIERAJĄCYCH PIROWĘGIEL I HYDRO- KSYAPATYT, IMPLANTO- WANYCH ŚRÓDKOSTNIE KRÓLIKOM PO OKRESIE 22 TYGODNIOWYM

GRZEGORZ BAJOR*, JERZY NOŻYŃSKI**, EWA ZEMBALA-
NOŻYŃSKA***, WOJCIECH ŚCIERSKI****, ADAM GRZYBOWSKI**,
TOMASZ MĘCIK***

*KATEDRA I KLINIKA CHIRURGII DZIECIĘCEJ ŚLĄSKIEJ AKADEMII
MEDYCZNEJ W KATOWICACH

**ŚLĄSKIE CENTRUM CHOROÓB SERCA W ZABRZU

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

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

Wprowadzenie

Objawem niepożądanym implantów z metali i ich sto-
pów jest występowanie metalozy, czyli odczynu osteolitycz-
nego wokół materiału zespalającego, jak również zjawisk
tzw. przesztywnienia. Konieczność usuwania materiału zes-
palającego po wygojeniu złamania staje się, zwłaszcza w
traumatologii dziecięcej, elementem inspirującym do dal-
szych badań i poszukiwań materiału, który mógłby ulec bio-
degradacji. Celem pracy była ocena degradacji tworzyw
kompozytowych wzmocnianych włóknami węglowymi i
pokrywanych hydroksyapatytem i pirowęgłem.

Materiał i metodyka

Wykonano śródszpikową implantację królikom sztyftów
będących implantami kompozytów węglowych zawierają-
cych pirowęgla i hydroksyapatyt naniesione elektroforetycz-
nie na powierzchnię włókien. Po 4, 12 i 22 tygodniu zwie-
rzęta usypiano, zaś z fragmentów kości i implantu wykony-
wano preparaty histologiczne, które analizowano wykorzy-
stując system analizy obrazu Quantimet Leica. Oceniono
morfometrycznie: wymiar najkrótszy odpowiadający szeroko-
ści włókien węglowych, 2. obliczoną szerokość włókien
węglowych, 3. współczynnik wypełnienia, 4. średni stopień
szarości odzwierciedlający gęstość materiału - gęstość
optyczną. Wyniki opracowano statystycznie.

Wyniki

Wyniki zestawiono w TAB. 1, zaś wzajemne porównania
grup w TAB. 2. Dodatkowo oceniono korelację średniego
stopnia szarości włókien z parametrami morfometrycznymi

MORPHOMETRIC PROFILE OF CARBON FIBRES IN CARBON COMPOSITES COVERED WITH PYROCARBON AND HYDROXYAPATITE, IMPLANTED INTO THE BONES/BONE MARROW OF RABBITS, AFTER 22 WEEKS

GRZEGORZ BAJOR*, JERZY NOŻYŃSKI**, EWA ZEMBALA-
NOŻYŃSKA***, WOJCIECH ŚCIERSKI****, ADAM GRZYBOWSKI**,
TOMASZ MĘCIK***

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

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

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

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

Introduction

Undesirable symptom of metal and alloy implants is
metalosis i.e. osteolytic reaction around anastomosing
material, and also a phenomenon called 'overstiffening'. A
necessity of anastomosing material removal after recovery
has become, especially in pediatric surgery, an element
inspiring to further studies and research for a material which
would be biodegradable. The aim of the study was an evalu-
ation of degradation of composite materials reinforced with
carbon fibres covered with hydroxyapatite and pyrocarbon.

Material and methods

Implantation of pins into rabbit's bone marrow was per-
formed. The pins were implants of carbon fibre composite
covered with pyrocarbon electrolytically with hydroxyapa-
tite (C-Cp-HAP). After 4, 12, and 22 weeks the animals were
sacrificed under general anaesthesia, then bone and im-
plant 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 car-
bon fibres, 3. fullness factor coefficient, 4. mean gray level
reflecting density of the material - optic density. The results
were analyzed statistically.

Results

The results are compared in TAB. 1 and the groups are
contrasted in TAB.2. Additionally, correlation of mean gray
degree with morphometric parameters and observation time
are evaluated. (TAB. 3 and 4).

Tydzień implantacji	Liczba	Mediana	Minimum	Maksimum	Kwartył dolny	Kwartył górny
Implantation week	Number	Median	Minimum	Maximum	Lower quartile	Upper quartile
Wymiar najkrótszy / Breadth						
22	193	1.923	0.385	41.154	0.769	5.385
12	465	3.077	0.385	115	1.154	9.231
4	177	1.923	0.385	72.308	1.154	6.923
Obliczona szerokość / Curve width						
22	194	1.154	0.385	10.385	0.769	2.692
12	466	1.923	0.385	13.846	0.769	5
4	178	1.346	0.385	12.692	0.769	3.462
Współczynnik wypełnienia / Fullness factor						
22	194	0.938	0.604	1.371	0.818	1.061
12	466	0.91	0.526	1.371	0.804	1.034
4	178	0.915	0.424	1.371	0.824	1.057
Średni stopień szarości / Mean grey level						
22	194	39.0805	19.909	57.943	33.23	43.784
12	466	39.6215	20.545	57.4	36.111	44.168
4	178	46.398	28.6	59.9	41.025	51.625

TABELA 1. Charakterystyka morfometryczna procesu biodegradacji włókien kompozytów węgiel-węgiel-pirowęgiel-hydroksyapatyt w okresie 22 tygodni.

TABLE 1. Morphometric characteristics of the biodegradation process of the fibres in carbon-carbon-pyrcarbon-hydroxyapatite composite in 22 week.

Porównywane tygodnie Compared weeks	Wartość Value			
	Wymiar najkrótszy Breadth	Obliczona szerokość Curve width	Współczynnik wypełnienia Fullness factor	Średni stopień szarości Mean grey level
4 tydzień versus 12 tydzień 4 th week versus 12 th week	0.067	0.02	0.55	0.000001
12 tydzień versus 22 tydzień 12 th week versus 22 nd week	0.04	0.001	0.24	0.000001

TABELA 2. Porównanie wartości morfometrycznych kompozytu węgiel-węgiel-pirowęgiel - hydroksyapatyt implantowanych śródtkostnie królikom.

TABLE 2. The comparison of morphometric values of the fibres of carbon-carbon-pyrcarbon-hydroxyapatite composite implanted into bones in rabbits.

The breadth showed initially significant increase of mean value, then significant decrease of value followed, curve width of carbon fibres behaved in a similar way. Fullness factor indicated a disclosure of the most distinctive resorptive pits, irregularities in the 4th and 12th weeks of implantation, however the fluctuations were statistically significant. Mean gray degree showed progressive and significant decrease of mean value.

Tydzień implantacji Week of implantation	Wartość Value					
	Wymiar najkrótszy Breadth		Obliczona szerokość Curve width		Współczynnik wypełnienia Fullness factor	
	Spearman R	p	Spearman R	p	Spearman R	p
4 tydzień 4 th week	-0.293	0.00001	-0.228	0.002	0.319	0.000001
12 tydzień 12 th week	-0.202	0.000001	-0.211	0.00004	0.154	0.001
22 tydzień 22 nd week	0.235	0.001	0.221	0.001	-0.154	0.03

TABELA 3. Korelacja średniego stopnia szarości z wartościami morfometrycznymi włókien kompozytu węgiel-węgiel-pirowęgiel-hydroksyapatyt implantowanych śródtkostnie królikom.

TABLE 3. Correlation of the mean grey level with morphometric values of the fibres of carbon-carbon-pyrcarbon-hydroxyapatite composite implanted into bones in rabbits.

i czasem obserwacji (TAB. 3 i 4).

Wymiar najkrótszy wykazywał początkowo istotny wzrost wartości przeciętnej, po czym następował znamieny spadek wartości. Podobnie zachowywała się obliczona szerokość.

Discussion

Carbon fibre disintegration of the studied composites showed slightly different fluctuations of composite fiber lin-

Wymiar najkrótszy Breadth		Obliczona szerokość Curve width		Współczynnik wypełnienia Fullness factor		Średni stopień szarości Mean grey level	
Spearman R	p	Spearman R	p	Spearman R	p	Spearman R	p
-0.044	019	-0.069	0.045	0.017	0.62	-0.31	10 ⁻⁶

TABELA 4. Korelacja czasu obserwacji z wartościami morfometrycznymi włókien kompozytu węgiel-węgiel-pirowęgiel-hydroksyapatyt implantowanych śródkostnie królikom.

TABLE 4. The correlation of the time of implantation with the morphometric values of the fibres of carbon-carbon-pyroc carbon-hydroxyapatite composite implanted into bones in rabbits.

kość włókien węglowych. Współczynnik wypełnienia wskazywał na ujawnianie się najwyraźniejszych wżerów resorpcyjnych w 4 i 12 tygodniu implantacji, aczkolwiek wahania nie były znamienne statystycznie. Średni stopień szarości ujawniał postępujący i znamieny spadek wartości przeciętnej.

Dyskusja

Rozpad włókien węglowych badanych kompozytów wykazywał nieco odmienne od zaobserwowanych w poprzednich badaniach wahania wymiarów liniowych włókien kompozytu [1, 2, 3]. Wymiar poprzeczny włókien wykazywał wzrost i ostatecznie spadek wymiaru najkrótszego jak również obliczonej szerokości do wartości wyjściowych. Nie obserwowano pojawienia się wyraźnych wżerów resorpcyjnych gdyż współczynnik wypełnienia ujawniał nieistotne wahania. Spadek średniego stopnia szarości sugerował zagęszczanie się struktury włókna. Dochodziło więc do zagęszczenia struktury włókien przy zachowaniu wymiaru poprzecznego oraz nieistotnym spadku liczby wżerów resorpcyjnych. Biodegradacja zbliżonej chemicznie włókniny węglowej pokrytej pirowęgłem i implantowanej w ubytki żuchwy wykazywała w zbliżonych okresach obserwacyjnych postępujący i blisko dwukrotny spadek wymiaru poprzecznego włókien, przy mniejszej nieregularności obwodu jak również przy rozluźnianiu a nie zagęszczaniu struktury włókien - wzroście stopnia szarości czyli spadku gęstości optycznej [2, 3]. Odmienności w szybkości biodegradacji badanego kompozytu od włókniny węglowej pokrytej pirowęgłem ilustruje współczynnik korelacji, wykazujący w przypadku włókniny węglowej korelację dodatnią i blisko dwukrotnie mniejszą wartość bezwzględną podczas gdy w przypadku kompozytu C-Cp-HAP korelacja jest silniejsza i ma charakter ujemny. Być może iż poza czynnikami tkankowymi oraz pracą mechaniczną istotną rolę odgrywa elektrolitycznie naniesiony hydroksyapatyt, przyspieszający uwapnianie tkanki kostnej obrastającej implant.

Wniosek

Proces biodegradacji włókien węglowych pokrytych pirowęgłem i hydroksyapatytem jest odmienny od innych kompozytów węglowych. Nie powoduje wyraźnego zmniejszenia wymiaru poprzecznego włókien, przy czym dochodzi do zagęszczenia ich struktury wewnętrznej i spadku ilości wżerów. Wydaje się że za powyższe zjawisko odpowiedzialna jest warstwa hydroksyapatytu.

ear dimensions (breadth and curve width) than in the previous studies [1, 2, 3]. Transverse fiber dimension showed an increase and finally a decrease of the breadth and curve width value from the initial values. Distinct resorptive pits were not observed since filling coefficient disclosed insignificant fluctuations. A decrease of mean grey level suggested a densification in fibre structure. So the fibre structure thickened with the preserved transverse breadth and insignificant decrease of number of resorptive pits. Biodegradation of the chemically similar carbon fibre covered with pyroc carbon and the implanted in the mandible showed, in parallel observation periods, progressive and almost double decrease of the transverse fibre dimensions, with the smaller circumference irregularity and with loosening, not thickening, of fibre structure, an increase of grey level, which means a decrease of optical density [2, 3] The differences in biodegradation rate of the studied composite from carbon fibre covered with pyroc carbon are illustrated with correlation coefficient showing in case of carbon fibre positive correlation and absolute value two time smaller, while, in case of C-Cp-HAP composite, correlation is stronger and of negative profile. An electrolytically applied hydroxyapatite, enhancing calcification of newly formed bone tissue growing around an implant, might have an essential role besides tissue factors and mechanical work.

Conclusion

Biodegradation process of carbon fibres covered with pyroc carbon and hydroxyapatite is different from other carbon composites. It does not cause clear reduction of fibre transverse breadth with their inner structure thickened and a decrease of pit number. It seems that a layer of hydroxyapatite is responsible for this phenomenon.

Piśmiennictwo

References

- [1] 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.
- [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] 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.