

OCENA NIEKTÓRYCH WŁASNOŚCI BIOLOGICZNYCH KOMPOZYTU WŁÓKNO WĘGLOWE Z POLISULFONEM NA PODSTAWIE BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH NA KRÓLIKACH

ZBIGNIEW SZCZUREK*, TADEUSZ CIEŚLIK**, BOGNA OGORZELSKA-STRONCZAK**, DANIEL SABAT*, RAFAŁ KOSZOWSKI**

* I KATEDRA I KLINIKA CHIRURGII SZCZĘKOWO-TWARZOWEJ
ŚLĄSKIEJ AKADEMII MEDYCZNEJ W ZABRZU

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

Streszczenie

Do allogennych biokompatybilnych materiałów, które mogą być stosowane w traumatologii i chirurgii rekonstrukcyjnej należy kompozyt C-C. Niekorzystną cechą tego materiału jest jego kruchość. Połączenie kompozytu z polisulfonem zmienia w znaczny sposób parametry kompozytu C-C poprzez zwiększenie jego elastyczności. Autorzy podjęli badania doświadczalne z zastosowaniem kompozytu włókno węglowe i polisulfonu. Doświadczenie przeprowadzili na 12 królikach. Materiał wielkości 7 x 3 mm wprowadzili pod skórę, do mięśnia lędźwiowego oraz do ubytków zuchwy wielkości 8 x 5 x 3 mm. Otoczenie i tkanki, w których umieszczali kompozyt z polisulfonem oceniali na podstawie obserwacji makroskopowych i histopatologicznych. Stwierdzili, że degradacja włókien węglowych w tkance podskórnej i mięśniowej następowała znacznie szybciej niż degradacja polisulfonu, który w tkance mięśniowej wywoływał jednocześnie brzożny zanik włókien mięśniowych. W tkance kostnej natomiast proces degradacji włókien węglowych i polisulfonu przebiegał z jednakową szybkością. **Słowa kluczowe:** kompozyt węglowy, polisulfon, badania doświadczalne, ocena makro- i mikroskopowa.

W ostatnich latach najczęściej stosowaną metodą leczenia złamań kości jest stabilizacja wewnętrzna przy zastosowaniu metalowych elementów zespalających. Metalowe płytki i śruby poza wieloma zaletami posiadają również szereg wad. Powodują zjawisko "przesztywniania" kości, a zdaniem niektórych autorów wywołują niekorzystny wpływ prądów biologicznych przebiegających z ominięciem szpary złamania [8, 10]. Ponieważ nie powinny pozostawać na stałe w organizmie wymagają powtórnego zabiegu chirurgicznego dla ich usunięcia.

Od wielu lat podejmowane są próby zastosowania elementów zespalających wykonanych z innych materiałów niż metal [3, 4, 13, 17, 22]. Jednym z nich jest kompozyt węgiel-węgiel (C-C). Duża biozgodność tego materiału pozwala na jego zastosowanie kliniczne, natomiast wadą jest znaczna kruchość [3, 10, 16, 21]. Dla poprawy mechanicznej własności kompo-

EVALUATION OF SOME BIOLOGICAL PROPERTIES OF CARBON FIBRES - - POLYSULPHON COMPOSITE BASED ON EXPERIMENTS ON RABBITS

21

ZBIGNIEW SZCZUREK*, TADEUSZ CIEŚLIK**, BOGNA OGORZELSKA-STRONCZAK**, DANIEL SABAT*, RAFAŁ KOSZOWSKI**

* I DEPARTMENT OF PATHOMORPHOLOGY, SILESIAN ACADEMY OF MEDICINE, ZABRZE, POLAND

** I DEPARTMENT OF MAXILLOFACIAL SURGERY, SILESIAN ACADEMY OF MEDICINE, ZABRZE, POLAND

Summary

C-C composite is one of allogenic, biocompatible materials which can be used in traumatology and reconstructive surgery. An important drawback of this material is its fragility. However, when combined with polysulphone, carbon composite becomes significantly more elastic. The authors performed a number of experiments on rabbits to verify the parameters of carbon fibres plus polysulphone. The group consisted of 12 rabbits. The combination (size 7 x 3 mm) was inserted subcutaneously, into psoas muscle or mandibular defects of 8 x 5 x 3 mm. Surroundings and tissues into which the combination had been introduced were examined both macroscopically and histopathologically. Degradation of carbon fibres within subcutaneous and muscular tissues was found to develop much more faster than that of polysulphone, and the latter caused marginal atrophy of muscle fibres as well. On the other hand, the degradation process of both carbon fibres and polysulphone was the same within bone tissue.

Key words: carbon composite, polysulphone, experiments, macroscopic evaluation, microscopic evaluation.

In recent years a most popular method to treat broken bones has been internal stabilization with the use of metal elements. Apart from advantages, metal plates or screws have several drawbacks too. They cause "overankylosis" of the bone, and some authors report that detrimental effect of biological currents, passing by the fracture fissure, is also a consequence of metals [8, 10]. Furthermore, any inserted metals should not be left for good, so another surgery is needed to remove them. For many years attempts have been made to use other connecting materials [3, 4, 13, 17, 22]. Carbon-carbon composite (C-C) is one of them. Its high biocompatibility enables usage in clinical settings but its fragility is an important drawback [3, 10, 16, 21]. Some authors have tried to use C-C composite together with other materials, chiefly polymers, in an attempt at improving its mechanical properties [13, 20].

Results of many studies have shown that polysulphone is a very good materials in this respect. It is biocompatible and thermoplastic, therefore a desired shape can be obtained during the operation [2, 5, 7]. Moreover, polysulphone is radiopotent and easy to sterilize in an autoclave, in ethylene oxide or through x-rays [23,24].

zytu C-C podjęto próby łączenia go z innymi materiałami – głównie polimerami [13, 20]/.

Wyniki badań przeprowadzonych przez wielu autorów wykazały, że bardzo dobrym tworzywem do tych połączeń jest polisulfon. Wskazuje na to jego duża biogodność oraz termoplastyczność przejawiająca się możliwością uzyskiwania kształtu dostosowanego do krzywizn kości podczas zabiegu operacyjnego [2, 5, 7]. Dodatkowe zalety wynikają również z przepuszczalności polisulfonu dla promieni rentgenowskich, łatwości sterylizacji zarówno w autoklawie jak i w tenku etylenu lub przy pomocy promieni X [23, 24].

Te pozytywne cechy polisulfonu szczególnie w połączeniu z włóknem węglowym decydują o tym, że jest on dobrym materiałem implantacyjnym. Włókna węglowe wzmocnione polisulfonem są stosowane w traumatologii do zespolenia kości długich [6]. Podejmowano również próby wykorzystania ich w zabiegach operacyjnych guzów nowotworowych kręgosłupa [1]. W Katedrze Ceramiki Specjalnej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie podjęto próbę wytworzenia kompozytu z włókien węglowych połączonych z polisulfonem.

Celem przeprowadzonych przez nas badań jest ocena wpływu kompozytu włókna węglowe – polisulfon na tkanki żywego organizmu. W tym celu wykonano badania doświadczalne na królikach*.

Materiał i metodyka

Doświadczenia przeprowadzono na 12 dorosłych królikach rasy mieszanej, w równej liczbie obu płci. Zabiegi operacyjne po premedykacji Diazepamem wykonano w znieczuleniu dożylnym Ketaminą. Wysterylizowane w autoklawie fragmenty kompozytu C-C z polisulfonem wielkości 7 x 3 mm wprowadzano zwierzętom do tkanki podskórnej, mięśniowej i kostnej. Do tkanki podskórnej docierano po przecięciu skóry na grzbiecie zwierząt po stronie lewej. Po wytworzeniu kieszeni wprowadzano materiał. Po stronie prawej, po przecięciu skóry, tkanki podskórnej i powięzi mięśnia lędźwiowego, przecinano mięsień i pozostawiano fragment materiału. Z cięcia skórno u podstawy zuchwy docierano do kości. Następnie do tyłu od otworu bródkowego wykonano ubytek kostny wielkości 8 x 5 x 3 mm, w którym pozostawiano materiał. Wszystkie rany zaszywano warstwowo Dexonem. Zwierzęta uśmiercano w 7, 14, 21 dobie oraz 6, 9 i 12 tygodniu doświadczenia. Przeprowadzono ocenę makroskopową tkanek z okolicy wprowadzonych wszczepów oraz badania histopatologiczne.

Pobrane wycinki tkanek miękkich i kości utrwalano w 10% roztworze zobojętnionej formaliny. Fragmenty tkanki kostnej zuchwy odwapniano w 10% roztworze wersenianu sodowego (ED-TA). Dalsze postępowanie przeprowadzono w sposób typowy i zatapiano tkanki w parafale. Otrzymane bloczki krojono na mikrotomie uzyskując skrawki o grubości 6 mikronów. Po odparafinowaniu skrawki barwiono rutynowo hematoksylina-eozyną. Otrzymane preparaty oceniano w mikrosko-



RYS. 1. Liczne złogi polisulfonu w przestrzeniach torbielowatych. Barwienie H.E., pow. 100x
FIG. 1. Numerous polysulphone deposits in cystoid spaces. H.E. stain, magnif. 100x

polysulphone composite on a living organism. Experiments on rabbits were made /upon consent from Bioethical Committee for Experiments on Animals, Silesian Academy of Medicine in Katowice.

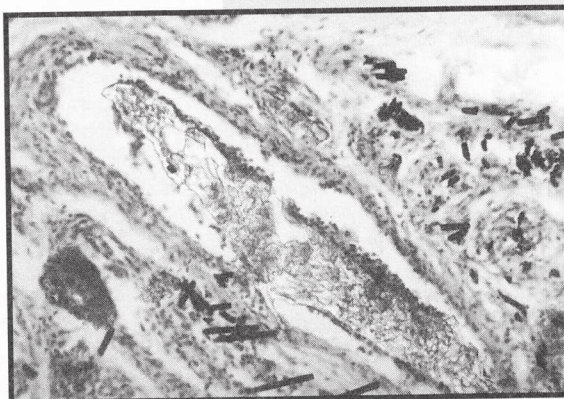
Material and methods

The experiments were made on 12 rabbits of mixed breed, 6 male and 6 female. The animals were premedicated with Diazepam and anaesthetized intravenously with Ketamine. Pieces of C-C composite plus polysulphone (size 7 x 3mm) were inserted into subcutaneous, muscular and bone tissues upon sterilisation in an autoclave. The subcutaneous tissue was approached by cutting the skin on the left side of the back. The material was introduced through a pocket. On the right side the skin, the subcutaneous tissue and psoas muscular fascia were cut to insert the piece. The bone was approached through a cutaneous cut at the base of the mandible. The piece was placed in a bone pit (8 x 5 x 3 mm) backwards from the mental foramen. All wounds were closed in layers with Dexon. The animals were killed on 7th, 14th and 21st days and 6, 9, 12 weeks following the experiment.

The specimens of soft tissue and bone were fixed in 10% neutralized formalin solution. Fragments of mandibular bone tissue were decalcified in 10% sodium versenate solution (ED-TA). Further procedure was typical, and the tissues were embedded in paraplast. The blocks were cut on a microtome to receive sections 6 microns thick. Upon removing the paraplast, the sections were stained routinely with hematoxylin-eosin. Final preparations were evaluated by light microscopy under 24-250 magnification.

Follow-up period /12 weeks/ was divided into 2 parts. The first consisted of 7-21 days /1 – 3 weeks/, the second 6 – 12 weeks.

The animals were quiet throughout the follow-up period, regularly taking dry food with vitamins



RYS. 2. Obfite złogi polisulfonu otoczone torebką łącznotkankową. Barwienie H.E., pow. 100x

FIG. 2. Abundant polysulphone deposits surrounded with connective-tissue capsule. H.E. stain, magnif. 100x

Results

The animals were quiet throughout the follow-up period, regularly taking dry food with vitamins

pie świetlnym stosując powiększenia od 24 do 250 razy.

12-tygodniowy okres obserwacji podzielono na dwie części. Pierwsza obejmowała okres od 7 do 21 doby (od 1 do 3 tygodnia), a druga od 6 do 12 tygodnia.

Wyniki

Od początku okresu obserwacji wszystkie zwierzęta zachowywały się spokojnie. Regularnie przyjmowały suchy pokarm z dodatkiem witamin i mikroelementów. Początkowo u wszystkich zwierząt obserwowano zaczerwienienie skóry wokół szwów. Szwy usunięto w 10 dobie po zabiegu operacyjnym. Rany były suche, bez wysięku zapalnego. W żadnym przypadku nie stwierdzono rozejścia się brzegów ran.

Tkanka podskórna

W pierwszym okresie obserwacji makroskopowych po odpreparowaniu tkanek stwierdzono luźno leżący wszczep, który wraz z upływem czasu coraz ściślej przylegał do otaczających tkanek. Pod koniec 21 doby w tkance podskórnej można było wyczuć niewielkie zgrubienie. Po odpreparowaniu skóry stwierdzono w tym okresie, że wszczep ściślej przylegał do warstwy przebarwionej tkanki łącznej. W drugim okresie obserwacji (od 6 do 12 tygodnia) w dalszym ciągu utrzymywało się zgrubienie tkanek ale bez cech jego narastania. Tkanka bezpośrednio otaczająca wszczep wydawała się bardziej przebarwiona. Pod koniec tego okresu bardzo ściśle przylegała do wszczepionego materiału i występowały trudności z jej oddzieleniem.

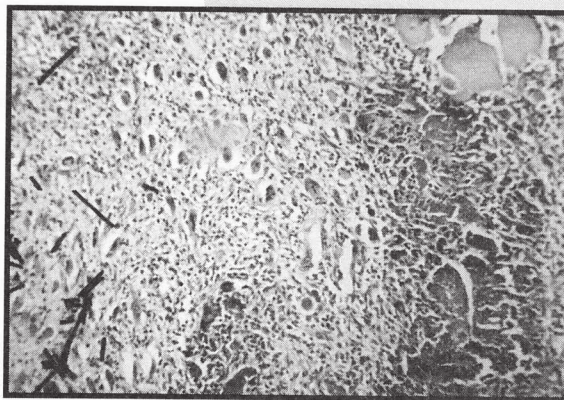
W obrazie mikroskopowym po 1 tygodniu w tkance łącznej podskórnej w pobliżu ognisk włókien węglowych obserwowano żółtobrazowe złogi polisulfonu o układzie liniowym. Ponadto znajdowano je w świetle przestrzeni torbielowatych otoczonych tkanką łączną włóknistą. Tworzyły struktury kryształiczne załamujące światło.

Po 2 tygodniach obserwowano postępującą degradację włókien węglowych bez odczynu obrzęmiokomórkowego. Wśród nich w tkance łącznej włóknistej występowały w wolnych otorebkowanych przestrzeniach dość liczne złogi polisulfonu (rys.1). Miejscami w ścianie przestrzeni obserwowano komórki fagocytarne typu "około ciała obcego" o ułożeniu liniowym

Po 3 tygodniach stopień zbrzylenia włókien węglowych zwiększył się. W ich pobliżu obserwowano otorebkowane przestrzenie zawierające kryształy polisulfonu.

Po 6 tygodniach w tkance podskórnej, na tle złogów węglowych złożonych z różnej długości włókien węglowych, spostrzegano rozrost fibroblastów, wśród których pojawiały się drobne ziarniaki resorbcyjne złożone z komórek wielojądrowych i zawierające niezbyt wyraźne złogi polisulfonu. W niektórych miejscach włókienka węglowe były skrócone i tworzyły nieregularne zbrzydlone struktury. W ich pobliżu obserwowano obecność dość dużych nieregularnych ziarniaków resorbcyjnych zawierających kryształiczne złogi polisulfonu.

Po 9 tygodniach złogi węglowe uległy wyraźnej degradacji, a pomiędzy nimi znajdowały się nieregularne struktury



RYS. 3. Martwica i obumieranie włókien mięśniowych. Barwienie H.E., pow. 63x
FIG. 3. Necrosis and atrophy of muscle fibres. H.E. stain, magnif. 63x

and microelements. The skin was reddened around sutures in all animals at the beginning of the period. The sutures were removed on the 10th day following the operation. The wounds were dry, with no inflammatory exudate. No wound dehiscence was observed in any case.

Subcutaneous tissue

During the first part of the follow-up period, macroscopic observations revealed loose im-

plant /upon severing the tissues/ which after a time became more and more adherent to surrounding tissues. Slight thickening could be felt in the subcutaneous tissue towards the end of the 21st day. Upon severing the skin, the implant was shown to adhere very tightly to a layer of discoloured connective tissue. During the second part of the follow-up period, the tissue thickening persisted but no increase was observed. The tissue adjacent to the implant appeared a bit more discoloured. Towards the end of the period it adhered very tightly to the implant and could not be separated without problems.

Microscopic picture after 1 week demonstrated yellow-brown polysulphone deposits in linear form within the subcutaneous connective tissue near carbon fibre foci. Moreover, such foci were observed in the lumen of cystoid spaces surrounded by fibrous tissue. They were crystalline, light-refracting structures.

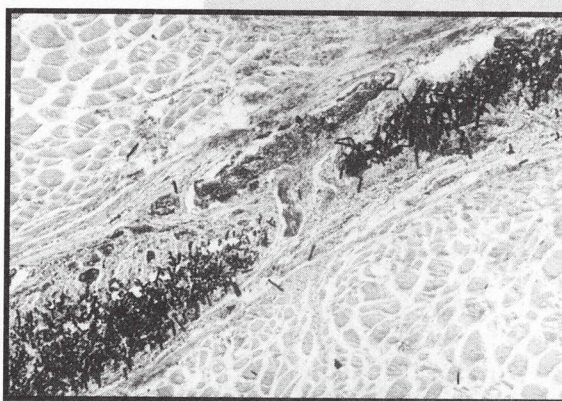
After 2 weeks degradation of carbon fibres was found to become more and more intense with no gigantocellular reaction. Numerous polysulphone deposits were visible within fibrous tissue in free encapsulated spaces (Fig.1). Linear phagocytic cells of "near foreign body" type could be seen occasionally in the space wall.

After 3 weeks carbon fibres were still more thickened. Encapsulated spaces containing polysulphone crystals were seen near them.

After 6 weeks fibroblasts expanded in subcutaneous tissue

among carbon deposits consisting of carbon fibres of varying lengths. Small resorptive granulomas including multinuclear cells and blurred polysulphone deposits could be seen too. Here and there the carbon fibrils were shorter and made irregular thick structures. Fairly large, irregular, resorptive granulomas, containing crystalline polysulphone deposits, were visible around them.

After 9 weeks the carbon deposits became degraded, and irregular cystoid structures with occasional multinuclear cells on the circumfer-



RYS. 4. Zbrzydlone masy włókniny węglowej z obwodowo położonymi złogami polisulfonu. Barwienie H.E., pow. 40x
FIG. 4. Lumps of carbon fibrin with polysulphone deposits on the circumference. H.E. stain, magnif. 40x

torbielowate z nielicznymi komórkami wielojądrowymi na obwodzie, zawierające krystaliczne złoże polisulfonu. Ogniskowo niektóre wszczepy miały charakter mieszany, gdyż złożone były z mniej licznych fragmentów włókien węglowych na tle krystalicznych złogów polisulfonu. Resorpcyjny odczyn fagocytarny był słabo widoczny, natomiast pojawił się w ich otoczeniu przewlekły odczyn zapalny z dużą ilością limfocytów.

Po 12 tygodniach na tle tkanki łącznej włóknistej występowały drobne fragmenty włókien węglowych świadczących o znacznym stopniu degradacji. W ich pobliżu znajdowały się wyraźne złoże krystalicznego polisulfonu, na obwodzie których uwidoczniono komórki olbrzymie wielojądrowe typu "około ciała obcego". Miejscami krystaliczne złoże polisulfonu otoczone były wyraźną torebką łącznotkankową z nielicznymi fagocytami, głównie jednojądrowymi (rys.2). W tym samym okresie obserwowano jednak również złoże rozpadającego się polisulfonu otoczonego torebką zbudowaną z licznych jednojądrowych fagocytów i mniej licznych komórek olbrzymich wielojądrowych.

Tkanka mięśniowa

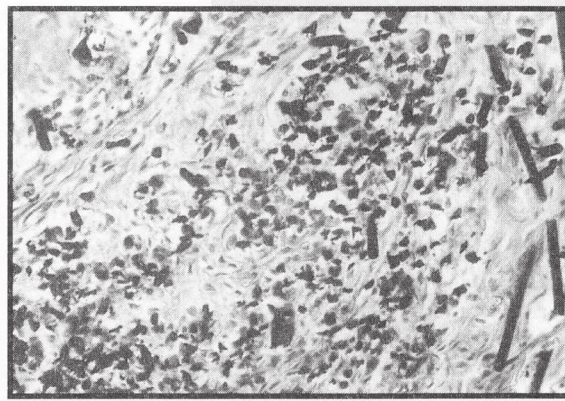
W pierwszym okresie obserwacji makroskopowych od samego początku wszczep tkwił luźno w mięśniu. Z czasem coraz ściślej przylegał do otaczającej go tkanki. Jednak w dalszym ciągu wszczepiony materiał można było łatwo usunąć z mięśnia. W drugim okresie obserwacji przyleganie tkanki mięśniowej do wszczepu było coraz ściślej, a pod koniec tego okresu trudno go było z niej wyseparować. Sam wszczep w ocenie makroskopowej pokryty był szczelnie tkanką zacierającą jego włóknistą, nierówną powierzchnię.

W badaniach mikroskopowych po 1 tygodniu w miejscu uszkodzenia obserwowano martwicę i obumieranie typu woskowego włókien mięśniowych. W ich otoczeniu pojawił się odczyn zapalny z udziałem komórek olbrzymich typu "około ciała obcego" (rys.3). Włókna węglowe tworzyły zlewające się konglomeraty otoczone rozrastającą się tkanką łączną włóknistą. Tkanka łączna na obwodzie włókien węglowych inkrurowana była złożami polisulfonu zlokalizowanego w wolnych przestrzeniach. Niektóre złoże o budowie krystalicznej ułożone były linijnie w podłużnych przestrzeniach łącznotkankowych wysłanych komórkami fagocytarnymi, w tym wielojądrowymi.

Po 2 tygodniach niektóre włókna mięśniowe ulegały zanikowi. W tych miejscach spostrzegano również złoże polisulfonu otoczone torebką i rozrastającą się tkanką łączną włóknistą.

Po 3 tygodniach obserwowano dalsze cechy zaniku włókien mięśniowych i postępującą degradację włókien węglowych, w pobliżu których widoczne były skąpe złoże polisulfonu otorebkowane tkanką łączną.

Po 6 tygodniach, w miejscu wszczepu, wśród mięśnia poprzecznie prążkowanego obserwowano złoże włókniny węglowej złożone z różnej długości włókienek, wśród których widoczne były liczne rozrastające się fibroblasty. Na obwodzie złogów węglowych wśród rozrastających się fibroblastów obserwowano przestrze-



RYS. 5. Drobne złoże polisulfonu wśród zdegradowanych włókien węglowych. Barwienie H.E., pow. 100x

FIG. 5. Small deposits of polysulphone in the midst of degraded carbon fibres. H.E. stain, magnif. 100x

rence, containing crystalline polysulphone deposits, were seen among them. Some implants had varying nature because they were made of less numerous carbon fibre pieces as compared to crystalline polysulphone deposits. Resorptive phagocytic reaction was poorly visible but long-lasting inflammatory reaction with a great number of lymphocytes could be seen around them.

After 12 weeks small pieces of carbon fibres, highly degraded, were observed on the background of fibrous tissue. Clear-cut deposits of cry-

stalline polysulphone could be seen near them, while multinuclear giant cells of "near foreign body" type were visible on the circumference. Occasionally the crystalline polysulphone deposits were surrounded with a clear-cut connective-tissue capsule containing a few phagocytes, chiefly of mononuclear type (Fig.2). At the same time deposits of disintegrating polysulphone were observed too, surrounded with a capsule made of numerous mononuclear phagocytes and less numerous multinuclear giant cells.

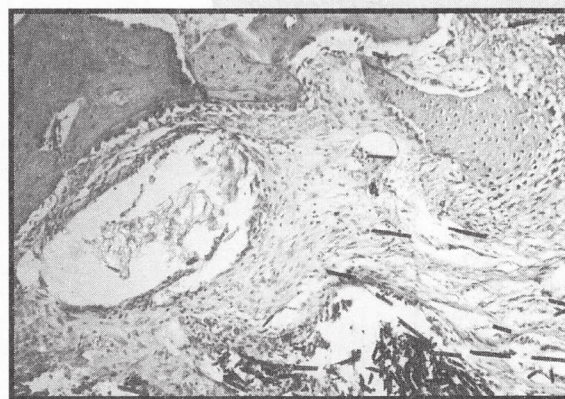
Muscular tissue

During the first part of macroscopic observation the implant was quite loose in the muscle. Gradually, it became more and more adherent to the adjacent tissue. However, its separation was easy. During the second part of the observation the adherence was more tight, and towards the end of that time its separation from the tissue seemed hardly possible. As viewed macroscopically, the implant was covered tightly with tissue which obliterated its fibrous irregular surface.

Microscopic examination after 1 week revealed necrosis of the injured site and waxy atrophy process within muscle fibres. Inflammatory reaction accompanied by giant cells of "near foreign body" type could be seen around them (Fig.3).

Carbon fibres had the form of diffused conglomerates surrounded with expanding fibrous tissue. Connective tissue on the carbon fibre circumference was incrustrated with polysulphone deposits located in free spaces. Some deposits /crystalline in structure/ were linear within long connective-tissue spaces lined with phagocytic cells /including multinuclear/.

After 2 weeks some of the muscle fibres were undergoing atrophy. Polysulphone deposits surrounded with expanding fibrous tissue and encapsulated were seen in these places too.



RYS. 6. Przestrzeń ze złożami polisulfonu otoczone torebkami łącznotkankowymi z odczynem fagocytarnym. Barwienie H.E., pow. 63x

FIG. 6. Spaces with polysulphone deposits surrounded with connective-tissue capsules of phagocytic reaction. H.E. stain, magnif. 63x

nie torbielowate zawierające żółtobrazowe krystaliczne złogi polisulfonu. Miejscami na brzegach struktur torbielowatych skupiały się linijnie komórki olbrzymie wielojądrowe typu "około ciała obcego". W niektórych torbielkach krystaliczne złogi polisulfonu otoczone były ściśle komórkami olbrzymimi typu "około ciała obcego".

Po 9 tygodniach wśród mięśnia poprzecznie prążkowanego obserwowano wyraźnie mniej liczne podłużne fragmenty włókien węglowych na tle rozrastającej się tkanki łącznej włóknistej. W pobliżu złogów włókniny węglowej spostrzegano przestrzenie torbielowate zawierające krystaliczne złogi żółtobrazowego polisulfonu. W ścianie torbieli pojawiły się komórki fagocytarne jednojądrowe i pojedyncze wielojądrowe. W pobliżu tych zmian mięśni poprzecznie prążkowany zbudowany był z drobnych włókien mięśniowych z cechami zaniku. Pomiedzy włóknami mięśniowymi występowały dość liczne fibroblasty.

Po 12 tygodniach w miejscu wszczepu obserwowano postęp w degradacji włókien węglowych wyróżniający się ich skróceniem i zmniejszeniem ilości na tle tkanki łącznej włóknistej, w której pojawiały się włókna kolagenowe. W pobliżu złogów włókien węglowych znaleziono przestrzenie torbielowate zawierające krystaliczne złogi polisulfonu naśladujące "plaster miodu" i otoczone wielojądrowymi fagocytami typu "około ciała obcego". W niektórych miejscach, wśród mięśnia poprzecznie prążkowanego spostrzegano podłużne złogi włókniny węglowej tworzące zbrylone czarne masy złożone z drobnych włókienek. Na ich obwodzie układały się podłużnie krystaliczne złogi żółtobrazowego polisulfonu (rys. 4).

Tkanka kostna

W pierwszym okresie obserwacji makroskopowych tylko na początku doświadczenia wszczep tkwił luźno w ubytku kostnym i łatwo dawał się z niego usuwać. Pod koniec tego okresu był całkowicie pokryty tkanką przypominającą wyglądem kość o dość luźnej strukturze. W drugim okresie obserwacji dało się zauważyć większe nagromadzenie tkanki kostnej w miejscu wytworzonego wcześniej ubytku. Pod koniec 12 tygodnia doświadczenia tkanka kostna wypełniająca ubytek wydawała się w pełni ukształtowana.

W badaniach mikroskopowych po 1 tygodniu wykazano na tle regenerującej tkanki łącznej gęste skupienia krótkich włókien węglowych. Na brzegu tych ognisk i między włóknami węglowymi obserwowano nieregularne żółtawobrazowe złogi polisulfonu.

Po 2 tygodniach między regenerującymi beleczkami kostnymi spostrzegano gdzieś żółtawobrazowe złogi polisulfonu zlokalizowane w jasnych przestrzeniach z pojawianiem się zarysów łącznotkankowej torebki wysłanej miejscami wielojądrowymi komórkami typu "około ciała obcego". Postępująca degradacja włókien węglowych wyrażała się pojawianiem pyłkowatych struktur węglowych zawierających słabo widoczne drobne złogi polisulfonu (rys. 5). W ich pobliżu miejscami znajdowały się w torebce zbudowanej z delikatnej tkanki łącznej bardziej obfite złogi polisulfonu. Po 3 tygodniach złogi te układały się w sposób linijny w pobliżu zbrylonych gęstych skupisk włókien węglowych. Zastosowanie większego powiększenia ujawniło krystaliczną strukturę tych złogów.

Po 6 tygodniach beleczki kostne wykazywały cechy aktywnej odnowy z obecnością osteoblastów ułożonych szeregowo na obrzeżu beleczek. W przestrzeniach międzybeleczkowych, utworzonych głównie z tkanki łącznej włóknistej, znaleziono owalne torbielowate przestrzenie zawierające złogi polisulfonu z odczynem fagocytarnym w otaczającej torebce łącznotkankowej (rys. 6). W innych przestrzeniach międzybeleczkowych znajdowały się zbrylone złogi wyraźnie skróconych włókien węglowych. Tylko na obwodzie ubytku wykazano obecność grubych dojrzałych beleczek kostnych inkrustowanych skąpyimi złogami włókien węglowych.

After 3 weeks signs of further atrophy of muscle fibres were visible together with further degradation of carbon fibres and nearby occasional polysulphone deposits encapsulated with connective tissue.

After 6 weeks deposits of carbon fibres were seen in place of the implant, in the midst of transverse striated muscle. The deposits contained fibrils of varying length and numerous expanding fibroblasts. Around their circumference cystoid spaces were seen containing yellow-brown crystalline polysulphone deposits. Here and there on the margins of the cystoid structures, multinuclear giant cells of "near foreign body" type accumulated in a linear fashion. In some of the cysts crystalline polysulphone deposits were surrounded tightly with giant cells of "near foreign body" type.

After 9 weeks less numerous long pieces of carbon fibres were seen in the transverse striated muscle on the background of expanding fibrous tissue. Cystoid spaces containing crystalline deposits of yellow-brown polysulphone were seen near the deposits of carbon felt. Mononuclear /occasionally multinuclear/ phagocytic cells appeared in the cyst wall. Around those changes the transverse striated muscle was made of small muscle fibres and had signs of atrophy. Fibroblasts were quite numerous among muscle fibres.

After 12 weeks further degradation of carbon fibres was observed in place of the implant. The fibres were short and less numerous on the background of fibrous tissue in which collagen fibres appeared as well. Cystoid spaces were found near the deposits of carbon fibres, containing crystalline polysulphone deposits shaped like a honeycomb and surrounded with multinuclear phagocytes of "near foreign body" type. Sometimes long deposits of carbon felt were observed in the midst of the transverse striated muscle, constituting black thick masses made of minute fibrils. Along their circumference long crystalline deposits of yellow-brown polysulphone were seen [Fig.4].

Bone tissue

Only at the beginning of the follow-up period the implant was loose in the bone pit and easy to remove. However, it gradually became covered with a tissue looking like bone of thin structure. During later part of the period bone tissue accumulated in place of the pit. Towards the end of the 12th week the bone tissue seemed quite mature.

Microscopic examination after 1 week revealed thick clusters of short carbon fibres on the background of regenerating tissue. On the edge of them and among carbon fibres, some irregular yellowish-brown deposits of polysulphone were observed.

After 2 weeks occasional yellowish-brown deposits of polysulphone were seen among regenerating bone trabeculas, located within bright spaces; an outline of a connective-tissue capsule appeared too, lined here and there with multinuclear cells of "near foreign body" type. Progressive degradation of carbon fibres was shown by dust-like carbon structures containing poorly visible small deposits of polysulphone [Fig.5]. Near them some more abundant polysulphone deposits could be sometimes found within a capsule made of delicate connective tissue.

After 3 weeks these deposits had linear shape and appeared most often near thick clusters of carbon fibres. Greater magnification enabled to see crystalline structure of these deposits.

After 6 weeks the bone trabeculas demonstrated the signs of active restoration with osteoblasts arranged in series on the trabecula margin. In intertrabecular spaces, consisting chiefly of fibrous tissue, oval cystoid places were found containing polysulphone deposits with phagocytic reaction within connective-tissue capsules /fig.6/. In other intertrabecular spaces thick deposits of much shorter carbon fibres were seen. Only along the circumference of the pit there were thick

Po 9 tygodniach ubytek wypełniały masy dojrzałej kości zbitej zawierające luźne przestrzenie, w których znajdowały się resztki złogów polisulfonu. Poza dojrzałymi beleczkami kostnymi spostrzegano również mniejsze beleczki kostne oraz większe pola włóknistej tkanki łącznej zawierające zbrylone resztki drobnych włókien węglowych.

Po 12 tygodniach w pobliżu dojrzałych beleczek kostnych, wśród tkanki łącznej włóknistej, ujawniały się nieregularne wolne przestrzenie zawierające resztki złogów polisulfonu. W niektórych miejscach zbrylone złogi włókien węglowych inkrustowały beleczki kostne i tkankę łączną włóknistą. W tych okolicach tylko wśród włókien węglowych znaleziono ślady złogów polisulfonu.

Omówienie i dyskusja

Biodegradacja włóknistych materiałów węglowych jest procesem ogólnie znanym. Najczęściej uważa się ją za zjawisko bardzo pozytywne [3, 12, 14]. Część autorów twierdzi jednak, że cecha ta nie zawsze jest korzystna [9, 15]. Nie do końca bowiem zostały wyjaśnione losy zdegradowanych i uprzątanych z miejsca ich wszczęcia drobin węglowych [3, 12, 18]. Biodegradacja włóknistych materiałów węglowych została również potwierdzona w naszym doświadczeniu. Znaczne jej nasilenie obserwowano już pod koniec 21 doby, o czym świadczyła obecność pyłkowatych struktur węglowych pomiędzy regenerującymi się beleczkami kostnymi.

W żadnej z tkanek do której wszczępiono badany materiał nie obserwowano odczynu typu "około ciała obcego" wokół drobin węglowych. Komórki fagocytarne widoczne były natomiast wokół złogów krystalicznego polisulfonu. Zjawisko to towarzyszy zwykle wszczępionemu materiałowi o strukturze krystalicznej [11]. Złogi polisulfonu były zwykle widoczne w torbielopodobnych przestrzeniach otoczonych tkanką łączną włóknistą.

W tkance podskórnej po 12 tygodniach dalszy rozpad włókien węglowych wskazywał na znaczne zaawansowanie ich biodegradacji. Natomiast odczyn na złogi krystalicznego polisulfonu charakteryzowały się większą różnorodnością. Od typowego odczynu komórek wielojądrowych na ciało obce, poprzez separację złogów polisulfonu przez torebkę łącznotkankową z nielicznymi fagocytami jednojądrowymi aż po pojawienie się pierwszych oznak biodegradacji złogów polisulfonu wykazujących cechy rozpadania się.

W tkance mięśniowej na podstawie 12-tygodniowej obserwacji należy stwierdzić, że w odniesieniu do wszczępów włókniny węglowej następuje wyraźna acz nierównomierna degradacja wszczępionego materiału stymulującego rozwój tkanki łącznej od rozrostu fibroblastów aż do powstawania dojrzałej tkanki łącznej włóknistej z włóknami kolagenowymi. Zjawisko to potwierdza doniesienia wielu autorów o stymulującym wpływie włókien węglowych na rozwój tkanki łącznej [3, 9, 12, 14]. Natomiast w odróżnieniu od wszczępu węglowego, we wszystkich okresach obserwacji złogi polisulfonu prowadziły do powstawania ziarniaków resorbcyjnych z licznymi komórkami wielojądrowymi typu "około ciała obcego", które nie zmieniały się w czasie, a więc właściwie nie ulegały degradacji.

W tkance kostnej po 12-tygodniowej obserwacji ubytek wypełniony włókniną węglową z dodatkiem polisulfonu wykazywał stopniową pełną odnowę tkanki kostnej, nawet do pojawienia się kości zbitej na podłożu tkanki łącznej. Tym zjawiskom odnowy towarzyszyła stopniowa równoległa degradacja włókniny węglowej i towarzyszącego jej polisulfonu. Wnioski W tkance podskórnej i mięśniowej obserwowano szybki postęp degradacji włókien węglowych, któremu towarzyszył znacznie opóźniony proces degradacji polisulfonu. Przeprowadzone badania wskazują na wpływ obydwu składników wszczępu na tkankę mięśniową cechującą się brzeźnym zanikiem włókien mięśniowych i ich postępującym włóknieniem. W tkance kostnej proces degradacji polisulfonu postępuje z podobną szybkością do degradacji włókien węglowych.

mature bone trabeculas incrustated with scarce deposits of carbon fibres.

After 9 weeks the pit was filled with mature compact bone with loose spaces containing remnants of polysulphone deposits. Apart from mature bone trabeculas, also smaller bone trabeculas and longer fields of fibrous tissue were observed containing thick remnants of minute carbon fibres. After 12 weeks irregular free spaces with remnants of polysulphone deposits appeared in the vicinity of mature bone trabeculas in the midst of fibrous tissue. Sometimes the bone trabeculas and fibrous tissue were incrustated with thick carbon fibre deposits. In this region traces of polysulphone deposits were found only among carbon fibres.

Discussion

Biodegradation of fibrous carbon materials is a widely known process. Most authors think its effect is beneficial [3, 12, 14] although some have a conflicting opinion [9, 15], chiefly because it remains unclear what happens to degraded carbon bits which have been removed from the implantation site [3, 12, 18].

Biodegradation of fibrous carbon materials was confirmed by our experiments too. Its intensity increased significantly towards the end of the 21st day, which was shown by dust-like carbon structures in the midst of regenerating bone trabeculas.

No tissue with the implant had a reaction of "near foreign body" type around carbon particles. However, phagocytic cells were observed around deposits of crystalline polysulphone. Such a situation is typical for the materials which have crystalline structure [11]. There were polysulphone deposits in cyst-like spaces surrounded with fibrous tissue.

Significant biodegradation of carbon fibres was found after 12 weeks on the basis of progressing fibre disintegration. On the other hand, deposits of crystalline polysulphone were highly differentiated, including typical reaction of multinuclear cells to a foreign body, separation of polysulphone deposits through connective tissue capsule with occasional mononuclear phagocytes, and signs of polysulphone deposit biodegradation.

The results of 12-week observation of the muscle tissue indicate that the carbon felt implant becomes gradually degraded to a varying extent, stimulating development of connective tissue, i.e. expansion of fibroblasts and mature fibrous tissue containing collagen fibres. This phenomenon is confirmed by many authors who find stimulating influence of carbon fibres on connective tissue development [3, 9, 12, 14].

In contrast to the carbon implant, polysulphone deposits led to development of resorptive granulomas at all stages of the follow-up period, with numerous multinuclear cells of "near foreign body" type which were never degraded.

As far as bone tissue is concerned, the pit filled with carbon fibrin plus polysulphone became gradually restored to reach the structure of fully compact bone on the background of connective tissue after 12 weeks. This restoration was accompanied by degradation of both carbon felt and polysulphone.

Conclusions

- 1. In subcutaneous and muscular tissues a rapid degradation of carbon fibres was observed together with delayed process of polysulphone degradation.
- 2. The experiments demonstrated that both components of the implant have an effect on muscular tissue, causing marginal atrophy of muscle fibres and their gradual fibrosis.
- 3. In bone tissue the process of polysulphone degradation is as fast as the rate of carbon fibre degradation.

- Piśmiennictwo [1] Burri C., Claes L., Wrsdrfer O.: Osteosynthese an der Wirbelsule mit individuell gearbeiteter Platte aus kohlenstoffaserverstärktem Polysulfon. Unfallchirurg. 89, (1989), 528-532.
- [2] Christel P., Claes L., Brown S.A.: Carbon-Reinforced Composites in Orthopedic Surgery. High Performance. Biomaterials, 32, (1991), 499-503.
- [3] Ciešlik T.: Płytki i śruby z kompozytu węgiel-węgiel do zespolenia odłamów żuchwy. Badania doświadczalne. Praca habilitacyjna. ŚIAM, Katowice 1993.
- [4] Ciešlik T., Pogorzelska-Stronczak B.: Kliniczna ocena płytek i śrub z materiału złożonego węgiel-węgiel stosowanych do zespolenia złamanej żuchwy. Stomat., XLIX, (1996), 559-562.
- [5] Ciešlik T., Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Skowronek J., Koszowski R., Sabat D., Zajęcki W.: Odpowiedź tkankowa na wszczep z materiału złożonego z włókien węglowych i polisulfonu. Biomateriały w medycynie i weterynarii, Rytyro (1996), 21-24.
- [6] Claes L.: Kohlenstoffaserverstärktes Polysulfon: Ein neuer mplantatwerkstoff. Biomed. Technik., 34, (1989), 315-319.
- [7] Foerster W., Huttner W., Kirschner H.: Kohlenstoffaserverstärktes Polysulfon als Implantatmaterial. Werkstoffliche Eigenschaften und biologische Untersuchung. Dtsch. Z. Mund Kiefer Gesichts. Chir., 8, (1984), 437-440.
- [8] Frank E., Zitter H.: Metallische Implantate in der Knochenchirurgie. Springer Verlag, Wien - New York 1977, 112-132.
- [9] Górecki A.: Przydatność włókien węglowych w śródstawowych rekonstrukcjach więzadła krzyżowego. Praca doktorska. AM, Warszawa 1983.
- [10] Górecki A., Kuś W.M., Purski K., Benke G.: Badania mechaniczne połączenia odłamów kostnych kompozytowymi płytkami węglowymi. Doniesienia wstępne. Biomateriały Węglowe, Rytyro (1991), 5-7.
- [11] Jastońska-Klein J., Lewandowska-Szumiał M.: Ocena reakcji tkanek na węglowe materiały implantacyjne o różnym stopniu krystaliczności. Biomateriały Węglowe, Rytyro (1992), 37-41.
- [12] Jenkins D.H.R.: Ligament Induction by Filamentous Carbon Fibre. Clin. Orthop., 197, (1985), 86-90.

- [13] Jockisch T.W., Brown S.A., Bauer T.W., Merwit K.: Biological response to chopped carbon fiber-reinforced peck. J. Biomed. Mater. Res., 26, (1982), 133-137.
- [14] Kuś W.M.: Badania doświadczalne nad zastosowaniem włókien węglowych w operacjach odtwórczych narządu ruchu. Praca habilitacyjna. AM, Warszawa 1986.
- [15] Kuś W.M., Górecki A., Benke G.: Pastyka powierzchni stawowych kolana włókniną węglową. Biomateriały Węglowe-Carbon, Rytyro (1990), 11-13.
- [16] Latour R.A., Black J.: Development of FRP composite structure biomaterials; ultimate strength of the fiber matrix interfacial bond in vivo simulated environments. J. Biomed. Mater. Res. 26, (1991), 593-598.
- [17] Leenslang J.W., Pennings A.J., Bos R.M., Rozema F.R., Baering G.: Resorbable materials of poly L-Lactide. VI Plates and screws for internal fracture fixation. Biomaterials, 8, (1987), 70-73.
- [18] Lemaire M.: Reinforcement of Tendons and Ligaments with Carbon Fibers. Clin. Orthop., 196, (1985), 169-174.
- [19] Marciniak J.: Biomateriały w chirurgii kostnej. Politechnika Śląska, Gliwice 1992.
- [20] Meyer M.R., Friedman R.J., Del Schutte H., Latour R.A.J.: Long-term durability of the interface in FRP composites after exposure to simulated physiologic saline environments. J. Biomed. Mater. Res., 28, (1994), 1221-1225.
- [21] Pampuch R., Błażewicz S., Chłopek J., Górecki A., Kuś W.M.: Nowe materiały węglowe w technice i medycynie. PWN, Warszawa 1988.
- [22] Staszaków E., Chłopek J., Litak A.: Kompozytowe śruby węglowe - dalsze prace nad poprawą parametrów wytrzymałościowych, pierwsze obserwacje kliniczne. Biomateriały Węglowe, Rytyro (1992), 42-44.
- [23] Wenz L.M., Merritt K., Brown S.A., Moet A., Steffee D.: In vitro biocompatibility of polyetheretherketone and polysulfone composites. J. Biomed. Mater. Res., 24, (1990), 207-215.
- [24] Van Loon J.J.W.A., Bierkens J., Maes J., Schoeters G.E.R., Ooms D., Doulabi B.Z., Veldhuijzen J.P.: Polysulphone inhibits final differentiation steps of osteogenesis in vitro. J. Biomed. Mater. Res. 29, (1995), 1155-1163.

ZASTOSOWANIE WĘGLOWEJ ŚRUBY INTERFERENCYJNEJ W REKONSTRUKCJI WIĘZADŁA KRZYŻOWEGO PRZEDNIEGO STAWU KOLANOWEGO

(DONIESIENIE WSTĘPNE)

PIOTR ŚWIĄDER, WOJCIECH MARIA KUŚ,
SŁAWOMIR STRUZIŁ, ANDRZEJ OPADZCUK

KATEDRA I KLINIKA ORTOPEDCZNA AKADEMII MEDYCZNEJ
W WARSZAWIE

Streszczenie

Śruby interferencyjne ulegające resorpcji w organizmie, wykorzystywane podczas rekonstrukcji więzadeł krzyżowych zyskują coraz więcej zwolenników. Liczne badania przeprowadzone na preparatach węglowych, które wykazały bardzo dużą ich przydatność w medycynie, skłoniły do zastosowania tych materiałów do produkcji śrub interferencyjnych. Praca zawiera wstępne doniesienie

APPLICATION OF CARBON INTERFERENCE SCREW IN RECONSTRUCTION OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT OF THE KNEE

(A PRELIMINARY REPORT)

PIOTR ŚWIĄDER, WOJCIECH MARIA KUŚ,
SŁAWOMIR STRUZIŁ, ANDRZEJ OPADZCUK

MEDICAL UNIVERSITY OF WARSAW,
DEPARTMENT OF ORTHOPAEDICS

Abstract

Resorbable interference screws, used in the anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction are gaining interest. Numerous reports on the successful application of carbon materials in medicine encouraged studies on their use as interference screws. The paper is the first communication concerning the application of polish carbon screws in the ACL reconstruction of the knee.