

jego sterylizacji dodatkowo sprzyja zainteresowaniu tym polimerem w medycynie.

Celem pracy było otrzymanie kompozytów składających z dwóch biogodnych składników, a mianowicie polisulfonu i włókien węglowych. Opracowano trzy materiały warstwowe o zróżnicowanej budowie powierzchni i różnych właściwościach mechanicznych, spośród których wybrano jeden i poddano go ocenie stosując spektroskopię w podczerwieni FTIR oraz mikroskopię skaningową. Materiał ten poddano również, inkubowaniu w płynie wieloelektrolitowym symulującym środowisko żywego organizmu.

## KOMPOZYTOWE KLAMRY WĘGLOWE W CHIRURGII URAZOWO - ORTOPEDYCZNEJ

I. KOTELA\*, J. CHŁOPEK\*\*

\* ODDZIAŁ CHIRURGII URAZOWO-ORTOPEDYCZNEJ  
SPZOZ W DĄBROWIE TARNOWSKIEJ

\*\* KATEDRA CERAMIKI SPECJALNEJ

AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE

### Wprowadzenie

Istnieją zabiegi ortopedyczne i złamania, w których najlepszym materiałem zespalającym odłamów kostnych są klamry. Dotyczy to zwłaszcza operacji w obrębie nasad i przynasad kości. Okolice te zbudowane są z kości gąbczastej, która ze względu na lepsze ułowienie, dużą powierzchnię kontaktu ze szpikiem intensywniej reagują na działanie bodźców zewnętrznych i wewnętrznych wpływających na procesy gojenia niż istota zbita.

Dotychczas do stabilizacji odłamów w okolicy nasad i przynasad używano stabilizatorów metalowych w postaci płytek, śrub, grotów, skobli metalowych, itp. Metalowe implanty poza wieloma zaletami posiadają również szereg wad. Powodują zjawisko "przesztywnienia" kości, metalozy oraz zdaniem niektórych wywołują niekorzystny wpływ prądów biologicznych przebiegających z ominięciem szpary złamania. Ponieważ nie powinny pozostawać na stałe w organizmie wymagają powtórnego zabiegu chirurgicznego dla ich usunięcia. Dlatego od wielu lat podejmowane są próby zastosowania elementów zespalających wykonanych z innych materiałów niż metal [1,2]. Należą do nich kompozyty węglowe.

Celem pracy jest zbadanie możliwości wykorzystania kompozytowych klamer węglowych w zespoleniach odłamów kostnych w osteotomii nadwładzadłowej bliższej nasady piszczeli w kolanie szpotawym oraz w stabilizacji złamania kłykci bliższej nasady piszczeli.

### Materiały i metody

Do otrzymywania kompozytowych klamer węglowych zastosowano żywicę epoksydową wzmacnianą włóknami węglowymi średniomodulowymi. Włókna w postaci rowingu przesycano żywicą i wprowadzano do gumowego węża o średnicy wewnętrznej odpowiadającej średnicy ramienia klamry. Tak przygotowany wąż umieszczano w formie nadając klamrze odpowiedni kształt. Po utwardzeniu w tem-

## Piśmiennictwo

## References

79

- [1] Roszkowska M.: "Biomateriały węglowe w medycynie" pod red. W. M. Kusia, Karniowice 1994 rozdział "Biomateriały węglowe w laryngologii"
- [2] Chłopek J., Błażewicz M., Błażewicz S., Powroźnik A., Wajler C.: "Włókna węglowe i kompozyty w zastosowaniach medycznych" Inż.Mat. 2-3 [67-68] (1992), 50-56
- [3] Pampuch R., Błażewicz S., Chłopek J., Powroźnik A., Wajler C., Pamula E.: "Włókniste i kompozytowe materiały węglowe" Inżynieria materiałowa 5 [76], (1993), 116-1
- [4] Salamone Joseph C., Editor - in Chief: "Polymeric Materials Encyclopedia", CRC Press, Inc. 1996, vol. 1-12

## CARBON COMPOSITE CLAMPS IN TRAUMATIC AND ORTHOPAEDIC SURGERY

I. KOTELA\*, J. CHŁOPEK\*\*

\* SPZOZ, DĄBROWA TARNOWSKA

\*\* DEPARTMENT OF ADVANCED CERAMICS

ACADEMY OF MINING AND METALLURGY, CRACOW

### Introduction

In some orthopaedic interventions and fractures the best way of uniting bone fragments is to use clamps. This refers especially to operations in the area of bone epiphysis and metaphysis. These parts are built of spongy bone which, owing to good contact with the marrow, reacts more intensively than the compact substance to external and internal stimuli that influence the healing processes.

Up to now the bone fragments in the vicinity of epiphysis and metaphysis were brought together with metallic stabilisers in the form of plates, screws, pins or staples. The metallic implants in spite of many advantages have some troublesome drawbacks. They are the reason of bone 'overstiffening', metallosis and - according to some opinions - they induce unfavourable effects of biological currents passing around the region of bone fissure. The metallic implants should not remain inside the organism for a long time and reoperations are needed for their removal. Therefore, for many years the attempts were made to develop the uniting elements made of other materials [1,2], such as for instance carbon composites.

The purpose of this work was to assess the applicability of carbon composite clamps for uniting bone fragments in the supraligamentous osteotomy of proximal tibial epiphysis in a genu varum and for stabilising the fractured condyles of proximal tibial epiphysis.

### Materials and methods

The carbon composite clamps were produced from the epoxy resin reinforced with medium modulus carbon fibres. The fibres in the form of roving were impregnated with the resin and inserted into a rubber hose with an inner diameter corresponding to that of clamp arm. Thus prepared hose was placed in a mould in order to obtain a desired shape of clamp. After setting of the resin at room temperature the



peraturze pokojowej wyciągano gotową klamrę usuwając gumowy wąż.

Kompozytowe klamry węglowe zastosowano w 9 przypadkach do zespolenia odłamów kostnych po osteotomii nadwładzłowej bliższej piszczeli u chorych z kolaniem szpotawym (RYS.1) oraz w 9 przypadkach do zespolenia kłykci, u chorych ze złamaniem głowy piszczeli (RYS.2).

Po wykonaniu półkolistej osteotomii nadwładzłowej korygowano oś kończyny a następnie w wykonane otwory wiertłem średnicy 3.2 mm wprowadzono jedną lub dwie klamry od strony przyśrodkowej i bocznej piszczeli, stabilizując w ten sposób odłamki kostne.

W przypadku złamanego kłykcia, nastawiono go odpowiednio do typu złamania, a następnie stabilizowano klamrami podobnie jak w osteotomii. Kończynę dolną unieruchomiono po zabiegu w opatrunku gipsowym na 6-8 tygodni, po czym wdrażano rehabilitację.

## Dyskusja wyników

### Analiza mechaniczna klamer kompozytowych

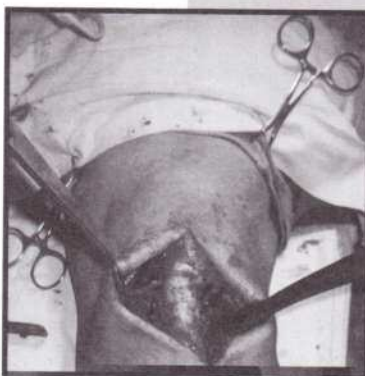
Kompozytowe klamry węglowe poddano badaniom mechanicznym określając wielkość ich odkształcenia oraz siłę wyprost ramion klamry, która odpowiada sile docisku odłamów kostnych po założeniu klamry. Charakterystykę mechaniczną kompozytowej klamry przedstawia RYS.3.

Jak wynika z tej zależności uzyskanie odkształcenia 5% wymaga przyłożenia siły o wartości 15 N. Dla porównania powszechnie stosowane klamry metalowe dla osiągnięcia odkształcenia sprężystego 1% wymagają przyłożenia siły około 400 N. Utrudnia to odkształcenie klamry podczas zabiegu i może doprowadzić do zbyt dużego docisku odłamów kostnych. Podobna sytuacja występuje w przypadku stosowania klamer

wykonanych ze stopów z pamięcią kształtu. W obu przypadkach pojawia się problem korozji w organizmie żywym i występuje konieczność usunięcia implantu. Ważną zaletą kompozytowych klamer jest możliwość odpowiedniego doboru sprężystości materiału, która decyduje o sile docisku odłamów kostnych. Można ją zmieniać w szerokich granicach wprowadzając różne udziały objętościowe włókien o różnych parametrach mechanicznych [3].

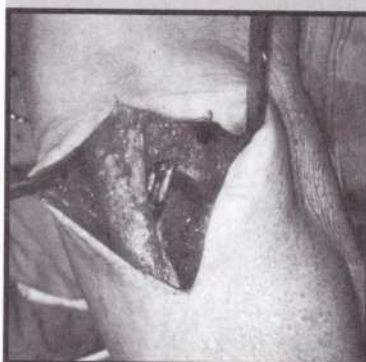
### Ocena kliniczna

Do kontroli zgłosili się wszyscy operowani chorzy. Kontrolę radiologiczną wykonywano po zabiegu operacyjnym, po 6 tygodniach (zdjęcie gipsu) i po 3 i 6 miesiącach. Ponadto w każdym z przypadku wykonano badanie komputerowe operowanej okoli-



RYS.1. Staw po osteotomii piszczeli; odłamki zespolone klamrami kompozytowymi.

FIG.1. Knee joint after the osteotomy of tibia; bone fragments united with the composite clamps.



RYS.2. Zespolenie kłykcia bocznego piszczeli za pomocą dwóch klamer kompozytowych.

FIG.2. Uniting of the lateral condyle of tibia by means of two composite clamps.

clamp was removed from the rubber hose.

The carbon composite clamps were used in nine cases to unite the bone fragments after the supraligamentous osteotomy of proximal tibial epiphysis in a genu varum (FIG.1) and in nine cases to unite the condyles in patients with a fractured head of tibia (FIG.2).

After the semicircular supraligamentous osteotomy the axis of limb was corrected and then one or two clamps were introduced into holes made with a 3.2-mm drill from the lateral and medial side of the tibia in order to stabilise the bone fragments.

In the case of fractured condyle it was properly repositioned and then stabilised with clamps, similarly as in the case of osteotomy. The limb was subsequently immobilised in a plastic cast for 6-8 weeks, which was followed by rehabilitation.

## Results and discussion

### Mechanical testing of composite clamps

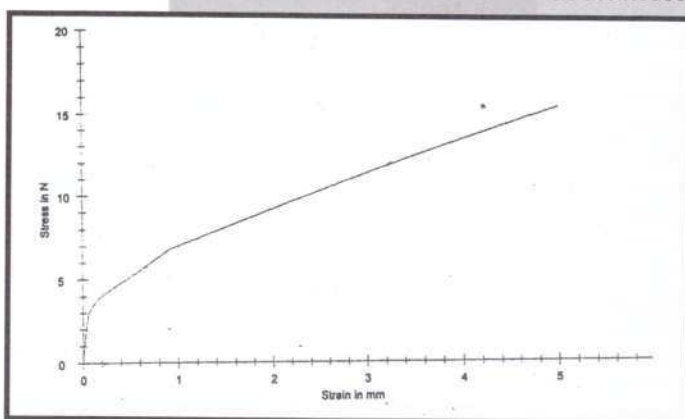
The carbon composite clamps were mechanically tested to determine the magnitude of their deformation and the force of clamp arms straightening, which corresponds to the force exerted by the clamp on the bone fragments brought together. The mechanical characteristics of the composite clamp are shown in FIG.3.

As can be seen, the strain of 5% requires the force of 15 N. For comparison, in the case of commonly used metallic clamps, the elastic strain of 1% requires the force of about 400 N. Therefore deformation of such a clamp during the surgical procedure is difficult and may cause an excessive pressure between the bone fragments. A similar situation is observed in the case of clamps made of shape-memory alloys. In both discussed cases corrosion of materials in the living organism is a serious problem as well as the necessity of implant removal. An important advantage of using the composite clamps is the possibility of varying their elastic properties, which are decisive for the forces holding the bone fragments together. The elastic properties can be changed in a wide range by using different volume fractions of fibres with different mechanical properties [3].

important advantage of using the composite clamps is the possibility of varying their elastic properties, which are decisive for the forces holding the bone fragments together. The elastic properties can be changed in a wide range by using different volume fractions of fibres with different mechanical properties [3].

### Clinical evaluation

All the patients reported for the check-up. Radiological examination was made 6 weeks after the surgery (after removal of plaster dressing) and after next 3 and 6 months. Moreover in each case a computer examination was carried out in the vicinity of the operation site. Both, the clinical evaluations and subjective patients' opinions confirm the advantages of the composite clamps. There were



RYS.3. Zależność siła – odkształcenie dla kompozytowej klamry węglowej.

FIG.3. Strain-stress curve for the carbon composite clamp.



cy. Własna ocena kliniczna i subiektywna pacjenta potwierdza zalety kompozytowych klamer. Założenie śródoperacyjne skobli nie sprawiło kłopotów technicznych.

Rana pooperacyjna wygoiła się przez rychłozrost. W każdym przypadku uzyskano zrost odłamów w okresie nie przekraczającym 8 tygodni. Nie stwierdzono wtórnych przemieszczeń odłamów kostnych w kontrolowanych radiogramach w przypadku osteotomii piszczeli, a w złamaniach kłykci głowy piszczeli przemieszczenia te nie różniły się jak w osteosyntezie innymi materiałami zespalającymi.

Należy podkreślić małą inwazyjność tego typu zespolenia oraz ze względu na charakterystyczną budowę klamry możliwość dopasowania jej sprężystości, a co za tym idzie siłę docisku odłamów. I wreszcie przejrzystość dla promieni X oraz uniknięcie powtórnego zabiegu związanego z usuwaniem materiału zespalającego, daje przewagę klamrom kompozytowym.

## Wnioski

1. Opracowanie kompozytowych klamer stwarza możliwości kontrolowanego doboru docisku odłamów kostnych
2. Otwiera możliwości zastosowania tych implantów w szerszym zakresie np. usztywnienie stawów, złamania nasad i przynasad innych kości długich, złamania awulsyjne, itp.

## Podziękowania

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Katedry Ceramiki Specjalnej WIMiC AGH (nr umowy 11.11.160.685)

## Piśmiennictwo

[1] W.Bołtuć, I.Kotela: Złamania bliższej nasady piszczeli w materiale Oddziału Urazowo-Ortopedycznego i Rehabilitacji w Dąbrowie Tarnowskiej, XXXIII Zjazd Naukowy PTOiTr. Kraków 21-23.09.2000

[2] I.Kotela, W.Bołtuć, A.Bryła: Wstępna ocena kliniczna śrub i skobli epoksydowych wzmocnionych włóknami węglowymi do zespolenia odłamów nasady bliższej i dalszej piszczeli, III Symp. Inżynieria Ortoped. i Protetyczna - IOP 2001, Białystok 25-27 czerwiec

no technical problems during the operation with fastening of staples.

The post-operation wound healed by first intention. In every case the union of bone fragments was completed after the period not exceeding 8 weeks. No secondary displacements of the bone fragments were observed on the control radiograms in the case of tibia osteotomy. In the case of fractured condyles of the tibial head the displacements did not differ from those in the osteosynthesis made by means of other uniting materials.

It should be emphasised that the applied type of uniting element shows small invasiveness and, owing to the characteristic structure, ability to change its elastic properties and thus the force exerted on bone fragments. Finally, penetrability by X-rays and the fact that reoperation in order to remove the implant is not necessary, make that the composite clamps seem superior to the metallic ones.

## Conclusions

1. Development of the composite clamps enables controlling of the force exerted on bone fragments.
2. New possibilities of using these implants are envisaged, e.g. in the cases of arthrodesis, fractured epiphysis and metaphysis of other long bones or avulsive fractures.

## Acknowledgements

The work was carried out at the Department of Special Ceramics, Faculty of Materials Science and Ceramics, University of Mining and Metallurgy under contract no. 11.11.160.685.

## References

[3] J.Chłopek, B.Degórska, A.Stoch, W.Kmieciński, A.Brożek, G.Kmita, Kompozytowe trzpienie dla endoprotez stawu biodrowego psa (Composite stems for dog's hip joint endoprosthesis), Inżynieria Biomateriałów (Engineering of Biomaterials), nr 10 czerwiec 2000, 8-17

# BADANIA KOMPOZYTÓW CERAMICZNO WĘGLOWYCH METODĄ MIKROSPEKTROSKOPII FTIR

C. PALUSZKIEWICZ<sup>\*\*\*</sup>, M. BŁAŻEWICZ<sup>\*\*</sup>, B. SZARANIEC<sup>\*\*</sup>, J. CHŁOPEK<sup>\*\*</sup>

\* ŚRODOWISKOWE LABORATORIUM ANALIZ FIZYKOCHEMICZNYCH I BADAŃ STRUKTURALNYCH

UNIWERSYTETU JAGIELLOŃSKIEGO, KRAKÓW

\*\* KATEDRA CERAMIKI SPECJALNEJ, AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KRAKÓW

Metoda mikrospektroskopii FTIR była użyta do badania powierzchni kompozytów węglowo-ceramicznych. Kompozyty te składające się z modyfikowanych fosforanami włókien węglowych spreparowano w celu ich zastosowania w ortopedii. Obecność w kompozycie włókien węglowych za-

# STUDIES OF CARBON-CERAMIC COMPOSITE BY FTIR MICROSPECTROSCOPY

C. PALUSZKIEWICZ<sup>\*\*\*</sup>, M. BŁAŻEWICZ<sup>\*\*</sup>, B. SZARANIEC<sup>\*\*</sup>, J. CHŁOPEK<sup>\*\*</sup>

\* REGIONAL LABORATORY, JAGIELLONIAN UNIVERSITY, CRACOW

\*\* DEPARTMENT OF ADVANCED AND CERAMICS, UNIVERSITY OF MINING AND METALLURGY, CRACOW

FTIR microspectroscopy has been used to study surfaces and cross-sections of carbon-ceramic composite. Such composite has been prepared for orthopedic applications. It is composed of carbon fibres and a modified carbon-phosphate substrate. The presence of carbon fibres provides mechanical properties appropriate for medical uses