

sterycznych przeszkód dla swobodnego poruszania się centrów rodnikowych. Wydaje się, że wiązania nienasycone tworzą się również w fazie krystalicznej, ale według innego mechanizmu. Względnie duża ilość rodników kończących łańcuch, powstających w wyniku  $\beta$ -fragmentacji, świadczy o powstawaniu podwójnych wiązań. Z drugiej strony ograniczona ilość rodników typu alilowego w UHMWPE1 wskazuje na małe prawdopodobieństwo lokalizacji spinu na tym fragmencie głównego łańcucha. Brak  $-\text{CH}_2\text{CH}_2\cdot$  w próbce UHMWPE2 jest spowodowany szybką rekombinacją centrów rodnikowych, czego wynikiem jest gwałtowne zmniejszanie się całkowitej ilości rodników w UHMWPE2 w porównaniu z UHMWPE1.

## Podziękowania

*Praca częściowo finansowana przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Decyzja No 134/E-365/SPB/COST/KG/DWM 68/2005-2008)*

## Piśmiennictwo

- [1] Rimnac C.M., Kurtz S.M.: Ionizing radiation and orthopaedic prostheses. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 2005, 236, 30-37.
- [2] Oral E., Malhi A.S., Muratoglu O.K.: Mechanisms of decrease in fatigue crack propagation resistance in irradiated and melted UHMWPE. Biomaterials 2006, 27, 917-925.
- [3] Stephens C.P., Benson R.S., Martinez-Pardo M.E., Barker E.D., Walker J.B., Stephens T.P.: The effect of dose rate on the crystalline lamellar thickness distribution in gamma-radiation of UHMWPE. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 2005, 236, 540-545.

## ODPORNOŚĆ KOROZYJNA PŁYT STOSOWANYCH W LECZENIU LEJKOWATEJ KLATKI PIERSIOWEJ

A. KRAUZE\*, J. MARCINIAK\*, J. DZIELICKI\*\*

\*INSTYTUT MATERIAŁÓW INŻYNIERSKICH I BIOMEDYCZNYCH,  
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY, POLITECHNIKA ŚLĄSKA,  
UL. KONARSKIEGO 18A, 44-100 GLIWICE,

\*\*AKADEMICKIE CENTRUM CHIRURGII MAŁOINWAZYJNEJ DLA DOROSŁYCH I DZIECI, 41-800 ZABRZE,  
E-MAIL: ANITA.KRAUZE@POLSL.PL

[Inżynieria Biomateriałów, 58-60,(2006),149-152]

## Wprowadzenie

Leczenie operacyjne zniekształcenia klatki piersiowej łączyło się z dość rozległym zabiegiem chirurgicznym przedniej ściany klatki piersiowej [1]. Występowanie tego typu wady w ogólnej populacji szacuje się na ok. 2%, z czego ok. 0,5% chorych wymaga chirurgicznego leczenia. Deformacja ta występuje prawie dwukrotnie częściej u chłopców, niż u dziewcząt [1+3]. W 1998 roku Donald Nuss przedstawił nową, minimalnie inwazyjną technikę operacji lejkowatej klatki piersiowej, uwzględniając korekcję znie-

oxygen and that formation of allyl type radicals in this phase is facilitated due to reduced restrictions for the mobility of radical centres. It seems that unsaturated bonds are produced also in crystalline regions but via different mechanism. Relatively large contribution of scission type radicals in UHMWPE1, resulting probably from  $\beta$ -fragmentation, shows that simultaneously some fraction of double bond must appear in the system. Limited amount of allyl type radicals in this sample confirms that the localisation of spin at this fragment of main chain hardly occurs. Remarkable is lack of  $-\text{CH}_2\text{CH}_2\cdot$  radicals in the UHMWPE2 sample. The radical centres in this case faster combine what results in prompt decrease of total radical concentration in UHMWPE2 in comparison with UHMWPE1.

## Acknowledgement

*The authors would like to thank Prof. Luigi Costa for providing the materials for this study.*

*This work was partly financially supported by Polish Ministry of Science and Higher Education (Decision No 134/E-365/SPB/COST/KG/DWM 68/2005-2008)*

## References

- [4] Dusemund B. (1997) PhD Thesis, University of Saarlandes.
- [5] Durant J., Jahan M.S.: EPR power saturation techniques and spectral differentiation are used to isolate and simulate radical species in UHMWPE. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 2005, 236, 160-165.

## CORROSION RESISTANCE OF PLATE USED IN PECTUS EXCAVATUM TREATMENT

A. KRAUZE\*, J. MARCINIAK\*, J. DZIELICKI\*\*

\*INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS,  
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
44-100 GLIWICE, POLAND

\*\*ACADEMIC CENTER OF MINIMALLY INVASIVE SURGERY OF ADULTS  
AND CHILDREN, 41-800 ZABRZE, POLAND  
E-MAIL: ANITA.KRAUZE@POLSL.PL

[Engineering of Biomaterials, 58-60,(2006),149-152]

## Introduction

Surgical treatment of the pectus excavatum used to be an extensive surgical procedure of the anterior chest wall [1]. Occurrence of this defect is about 2% but surgical treatment is necessary for about 25% of patients. This type of deformation is almost 2 times frequent in boys than girls [1+3]. In 1998 Donald Nuss introduced a new, minimally invasive technique of funnel chest treatment without a need of ribs resection [4]. The aim of this work was evaluation of corrosion resistance of plates fixating funnel chest after various time of implantation with different surface roughness.

kształcenia jej przedniej ściany przy zastosowaniu techniki małoinwazyjnej, nie wymagającej zabiegów resekcyjnych części kostnych [4].

Celem pracy była ocena odporności korozyjnej płyt po różnym czasie implantacji o różnym stopniu uszkodzenia powierzchni.

## Metodyka

Do badań wytypowano 149 płyt stabilizujących klatkę piersiową po implantacji stosowanych w operacyjnej technice Nuss'a wytworzonych ze stali austenitycznej Cr-Ni-Mo [5]. Przed przystąpieniem do badań korozyjnych sprawdzono chropowatość powierzchni próbek za pomocą profilagrofometru Surtronic 3+. Pomiar chropowatości przeprowadzono na długości 5 odcinków elementarnych. Dla implantów metalowych chropowatość powierzchni nie może przekroczyć  $R_a < 0,16 \mu\text{m}$ .

Kolejnym etapem badań było zbadanie odporności uszkodzonych powierzchni płyt na korozję wżerową. Przed przystąpieniem do badań dokonano oceny makroskopowej uszkodzeń powierzchni płyt po różnych okresach implantacji, co pozwoliło ustalić rodzaj i ilość uszkodzeń powstałych w wyniku przedoperacyjnego ich modelowania do anatomicznej krzywizny klatki piersiowej oraz podczas ich usuwania. Okres przebywania implantów w organizmie mieścił się w okresie od 7÷38 tygodni i wynosił średnio 24 miesiące. Ocena uszkodzeń mechanicznych obejmowała obserwację makroskopową wytypowanych powierzchni 76 płyt. Na podstawie tych obserwacji wytypowano charakterystyczny odcinek płyt do badań korozyjnych. Badania odporności korozyjnej przeprowadzono metodą potencjodynamiczną [6,7] na potencjostacie firmy VoltaLab, typu PGP 201 - RYS.1. Badania przeprowadzono w roztworze fizjologicznym Tyrode'a w temperaturze  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  o  $\text{pH} = 6,8 \div 7,4$ .

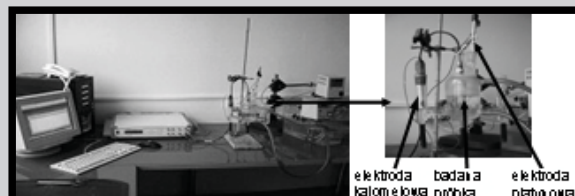
Składniki roztworu Solution components	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	KCl	NaHCO <sub>3</sub>	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
Stężenie, g/l wody destylowanej Concentration, g/l distilled water	8,00	0,20	0,20	1,00	0,05	0,10

TABELA 1. Skład chemiczny roztworu Tyrode'a [8].

TABLE 1. Tyrode's physiological solution [8].

## Wyniki

W obserwacjach makroskopowych powierzchni płyt zaznaczyły się bardzo wyraźne uszkodzenia mechaniczne powierzchni. Liczne, głębokie rysy powstały głównie w wyniku doginania narzędziem chirurgicznym płyt do krzywizny anatomicznej klatki piersiowej. Największe uszkodzenia powierzchni zaobserwowano w części środkowej płyt po ich zewnętrznej, odginanej stronie, jak również na ich końcach w obszarach zakończonych otworami - RYS.2, TAB.2. Badania odporności na korozję wżerową wykazały, że wartość potencjału korozyjnego  $E_{\text{kor}}$  ustalała się średnio po 45 minutach i mieściła się w zakresie  $-66 \div +83 \text{ mV}$ . W kolejnym etapie badań, podczas rejestracji krzywych polaryzacji anodowej płyt obserwowano inicjację procesów korozyjnych wynikających z uszkodzenia warstwy pasywnej



RYS.1. Stanowisko do badania odporności na korozję wżerową.

FIG.1. Diagram of the corrosion tests stand.

## Methodology

The research was performed on 149 plates used in funnel chest treatment after different times of implantation. The chemical composition of the stainless steel used for the plates met the PN ISO 5832-1 standard on plates made of the austenitic stainless steel (Cr-Ni-Mo) [5]. Before corrosion tests the surface roughness of plates was checked with the use of the Surtronic 3+ profilographometer. The roughness was calculated on the length of five elementary sections. For plates in initial state the surface roughness can not exceed the value of  $R_a < 0,16 \mu\text{m}$ .

The next stage of the work was evaluation of pitting corrosion resistance of the plates. Macroscopic observations of the surface damage was done before the corrosion test. The damage was caused by the fitting of the to the anatomical curvature of chest and their removal. The implantation time was in the range 7÷38 weeks. The evaluation of the mechanical damage included macroscopic observations of surface of the 76 plates. On the basis of these observations the characteristic sections of the plates were selected for potentiodynamic tests [6,7]. The VoltaLab® PGP 201 system for electrochemical tests was applied – FIG.1. The test consisted in the recording of the anodic polarization curves. Before the tests the samples were cleaned with the ethyl alcohol in the ultrasound washer. The tests were performed in the Tyrode's physiological solution – TABLE 1, at the temperature of  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  and  $\text{pH} = 6,8 \div 7,4$ .

## Results

Macroscopic observations of the implant surfaces showed mechanical damage. Numerous, deep scratches appeared as the result of fitting of the plates to the anatomical curvature of chest with the use of the surgical tool. The most damaged surface was observed in the middle part of the plates (outer side) as well as at the ends (holes) – FIG.1.

The pitting corrosion tests revealed that the corrosion potential  $E_{\text{cor}}$  was set in 45 min and was in the range  $-66 \div +83 \text{ mV}$ . In the next stage of the test, during the recording of anodic polarization curves, the initiation of corrosion processes was observed. The corrosion was caused by the damage of the passive layer for the potential in the range  $+312 \div +990 \text{ mV}$  – TABLE 2. A hysteresis loop characteristic for the pitting corrosion was observed. The repassivation potential were in range  $-149 \div +54 \text{ mV}$ .

## Conclusions

On the basis of the obtained results it can be stated that the mechanical damage of the plates' surfaces are caused by incorrect preparation before implantation, especially during the prebending. The surface damages in the form of deep scratches are the sites of the pitting corrosion initiation. The corrosion rate depends on the amount and the size of the surface damage as well as on the implantation time [10]. The quality of implantation has an influence on the course of



RYS.2. Przykład uszkodzenia powierzchni płyty.  
FIG.2. Plate with the surface damage.

przy potencjałach z przedziału  $+312 \div +990$  mV – TABELA 2. Na krzywych polaryzacji zaobserwowano pętle histerezy charakterystyczne dla przebiegu korozji wżerowej. Analiza krzywych polaryzacji umożliwiła określenie potencjału repasywacji  $E_{cp}$ , który mieścił się w zakresie  $-149 \div +54$  mV.

## Podsumowanie

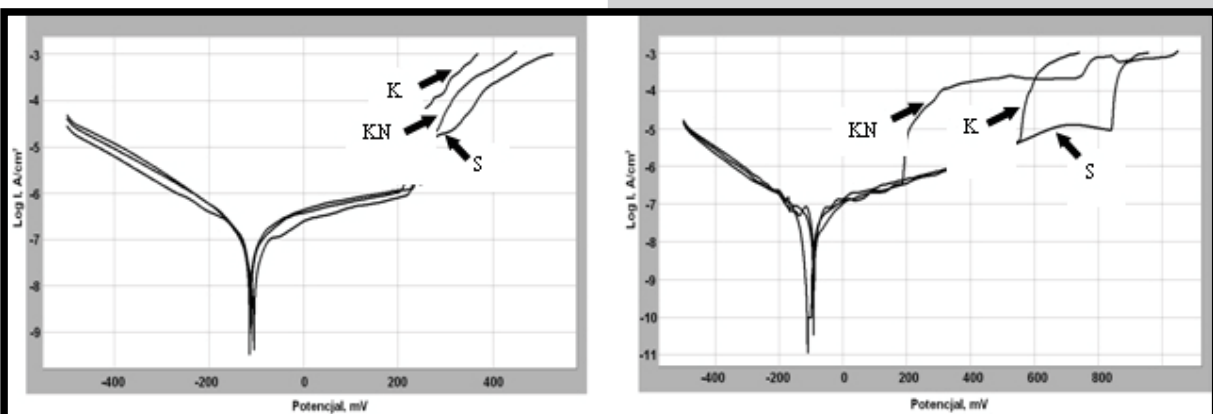
Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że uszkodzenia powierzchni płyt inicjowane są podczas ich implantowania, a w szczególności w momencie doginania ich do anatomicznej krzywizny klatki piersiowej. Uszkodzenia powierzchni występujące w postaci głębokich rys są miejscami inicjowania korozji wżerowej, której rozwój zależy od ilości i wielkości uszkodzenia powierzchni oraz czasu przebywania implantu w organizmie [10]. Jakość implantacji, a więc ilość i wielkość uszkodzeń mechanicznych powierzchni implantów, a także okres ich użytkowania mają wpływ na przebieg procesów korozyjnych implantów, z którymi wiążą się niewątpliwie niekorzystne reakcje i powikłania pooperacyjne bowiem produkty korozji infiltrują do tkanek powodując reakcje okołowszczepowe lub też mogą być transportowane z płynami fizjologicznymi do organów detoksycyjnych, wywołując reakcje ogólne [8]. W celu zminimalizowania tych efektów modelowanie przedoperacyjne powinno być prowadzone umiejętnie, stosując narzędzia chirurgiczne o odpowiednio wyprofilowanych częściach roboczych oraz na większych powierzchniach odkształconych. W ten sposób minimalizowane mogą być uszkodzenia powierzchni implantów.

Czas implantacji Implantation time	Nr płyty / No of plate	Symbol próbki Symbol of sample	Chropowatość powierzchni, Surface roughness, Ra, $\mu\text{m}$	Potencjał korozyjny Corrosion potential $E_{cor}$ , mV	Potencjał przebicia Breakdown potential, $E_{mp}$ , mV	Potencjał repasywacji Repassivation potential $E_{cp}$ , mV
24 miesiące 24 month	21	K	0,64	+46	+606	-35
		KN	0,64	+3	+551	-41
	52	K	0,38	+45	+623	-95
		KN	1,76	+64	+755	-125
	80	K	0,46	+38	+656	+10
		KN	0,24	-62	+695	-35
25 miesięcy 25 month	57	K	0,74	+83	+492	-100
		KN	0,50	+63	+559	+23
	71	K	0,28	+72	+644	-80
		KN	0,55	+52	+456	0
	117	K	0,90	+32	+400	-115
		KN	0,11	+20	+531	-30
26 miesięcy 26 month	135	K	0,52	+66	+601	+27
		KN	0,18	+32	+576	-135
	137	K	1,10	+30	+554	-100
		KN	1,60	+43	+536	+23
	149	K	0,30	-66	+623	-80
		KN	1,30	+34	+510	-5
30 miesięcy, od max. uszko- dzenia 30 month, max. da- mage	58	K	0,54	+24	+668	+5
		KN	0,16	+17	+542	-10
	137	K	0,82	+83	+570	-80
		KN	0,13	+28	+826	-150
	149	K	0,34	+63	+531	-180
		KN	0,18	+61	+719	-50
58	K	0,16	+72	+656	-30	
	KN	>1,20	0	+312	-149	
58	K	>1,96	-29	+384	-125	
	S	0,30	-13	+393	-98	

K, KN – końce płyt (okolice otworów), S – część środkowa  
K, KN – ends of plates, S – middle site

TABELA 2. Wyniki badań odporności na korozję wżerową wytypowanych płyt [9].  
TABLE 2. Results of research on the pitting corrosion resistance of selected plates [9].

corrosion processes of implants related to the unfavorable periimplantive reactions and postoperative complication because corrosion products infiltrate surrounding tissues causing negative inflammatory reactions [8]. In order to minimize these negative effects the prebending of the plates should be done properly with the use of dedicated tools. In this way the implants' surface damage can be minimized.



RYS.3. Przykładowe krzywe polaryzacji anodowej płyt: a) nr 58:—58S, —58K, —58KN; b) nr 137:—137S, —137K, —137KN.

FIG.3. Anodic polarization curves of plates: a)no 58:—58S, —58K, —58KN, b) no 137: —137S, —137K, —137KN.

## Piśmiennictwo

- [1] Rimnac C.M., K[1]. Dzielicki J. Korlacki W. Sitkiewicz T.: Małoinwazyjna metoda Nussa w leczeniu lejkowatej klatki piersiowej, *Polski Przegląd Chirurgiczny*, 2000, 72, 6, ss. 524-530.
- [2] Bohosiewicz J., Kudela G., Koszutski T.: Results of Nuss procedures for the correction of pectus excavatum, *European Journal of Pediatric Surgery* 2005, Vol.15, No.1, pp. 6-10.
- [3] Adamczak J. Pawlak K., Zieliński P., Dyszkiewicz W.: Wczesne wyniki leczenia lejkowatej klatki piersiowej metodą Nussa. *Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska*, maj 2004, t. 1, nr 2, ss. 84-93.
- [4] Nuss D., Kelly R.E., Croitoru P., Katz M.E.: A 10-year of minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery*, 1998, 33(4), pp. 545-552.
- [5] PN - ISO 5832-1, Implants for surgery metallic materials, Part I: Wrought stainless steel, (1997).

## OCENA ODPORNOŚCI KOROZYJNEJ STOPU Ni-Ti PRZEZNACZONEGO NA STENTY UROLOGICZNE

W. KAJZER, J. MARCINIAK

INSTYTUT MATERIAŁÓW INŻYNIERSKICH I BIOMEDYCZNYCH,  
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY, POLITECHNIKA ŚLĄSKA,  
UL. KONARSKIEGO 18A, 44-100 GLIWICE,  
E-MAIL: WOJCIECH.KAJZER@POLSL.PL

*[Inżynieria Biomateriałów, 58-60,(2006),152-155]*

### Wprowadzenie

W urologii stenty wykorzystywane są zarówno w celu wyeliminowania zwężeń cewkowych, jak i moczowodowych. Zabieg założenia stentu do cewki moczowej przy jej okluzji spowodowanej łagodnym rozrostem stercza (BPH) opisał po raz pierwszy Fabian w 1980 roku [1,2]. Aktualnie metoda endoskopowej implantacji stentów przy łagodnym przeroście stercza znalazła zastosowanie w leczeniu zwężeń cewki moczowej spowodowanej przez różnego rodzaju schorzenia typu zapalenia bądź też przebyte wcześniejsze zabiegi i operacje na układzie moczowo-płciowym [3÷5]. Bardzo istotną rolę w odporności korozyjnej implantu odgrywa jakość jego powierzchni. Ilościowy i jakościowy opis procesów korozji zachodzącej w środowisku sztucznego moczu determinuje skuteczność zastosowania implantu w praktyce klinicznej, jak również wpływa na minimalizację komplikacji pooperacyjnych [6÷10].

### Metodyka

Badania odporności na korozję wżerową przeprowadzono na próbkach wykonanych ze stopu Ni-Ti, spełniającego wszystkie wymagania dotyczące składu chemicznego i struktury dla biomateriałów przeznaczonych do produkcji implantów. Próbkę poddano szlifowaniu, a następnie modyfikacji powierzchni polegającej na polerowaniu elektrolitycznym oraz polerowaniu elektrolitycznym i pasywacji chemicznej w warunkach opracowanych przez autorów. Do wyznaczenia chropowatości powierzchni zastosowano profilografometr mechaniczny typu Surtronic 3+ oraz profilometr optyczny WYKO – NT 1100, firmy VEECO. Badanie odporności na korozję wżerową przeprowadzono metodą

## References

- [6] ASTM F746-87, Standard test method for pitting or crevice corrosion of metallic surgical implant materials, (1999).
- [7] ASTM G5-94, Standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements, (1999).
- [8] Marciniak J.: *Biomateriały*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (2002), ss. 116, 219-229, 238-252.
- [9] Kosieniak Sz.: *Badania uszkodzeń korozyjnych implantów stosowanych do leczenia operacyjnego lejkowatej klatki piersiowej*, Praca Magisterska, Gliwice 2006.
- [10] A. Krauze, W. Kajzer, W. Walke, J. Dzielicki: Physicochemical properties of fixation plates used in funnel chest treatment. *Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering*, Vol 18, Issue 1-2, September October 2006, pp. 151-154.

## EVALUATION OF CORROSION RESISTANCE OF NI-TI ALLOY INTENDED FOR UROLOGICAL STENTS

W. KAJZER, J. MARCINIAK

INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS,  
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
UL. KONARSKIEGO 18A, 44-100 GLIWICE,  
E-MAIL: WOJCIECH.KAJZER@POLSL.PL

*[Engineering of Biomaterials, 58-60,(2006),152-155]*

### Introduction

Stents in urology are used either to eliminate narrowing of the urethra or ureter. Stent insertion to urethra, while ureter was narrowed by the Benign Prostatic Hyperplasia (BPH), was described for the first time in 1980 by Fabian [1,2]. Nowadays endoscopic stent implantation method which is used to treat the BPH is also used to treat narrowing of bulbar urethra caused by instrumentation, trauma, inflammation or congenital problems [3÷5].

The quality of the surface layer also plays important role. A qualitative and a quantitative description of corrosion processes in artificial urine will determine the efficiency and the clinical usefulness of implants and will impinge on postoperative complications. For this reason a surface treatment of the Ni-Ti alloy is presented in this work. The surface treatment is important because of corrosion resistance minimizing reactions and postoperative complications [6÷10].

### Methods

The tests were carried out on samples of the following surfaces: grinded, electropolished and electropolished and chemically passivated in conditions worked by the authors. In order to measure the roughness the Surtronic 3+ surface analyzer and optical surface analyzer WYKO – NT 1100 produced by VEECO was applied. The pitting corrosion tests were realized by recording of anodic polarization curves with the use of the potentiodynamic method. The VoltaLab® PGP 201 system for electrochemical tests was applied [11,12]. The saturated calomel electrode (SCE) of KP-113 type was applied as the reference electrode. The tests were carried out in electrolyte simulating urine at the