

- [1] Min Wang, "Developing bioactive composite materials for tissue replacement", *Biomaterials*, Volume: 24, (2003), pp. 2133-2151.
- [2] Nishimura T., "Polymer materials for blood purification", Tsuruta T., Hyashi T., Kataoka K., Ishihara K., Kimura Y., (Ed.) *Biomedical application of polymeric materials*, (1993), pp. 191-218 CRC Press, Boca Raton, FL.
- [3] Zhao C.S., Liu T., Lu Z.P., Chen L.P., Huang J., "Evaluation of polyethersulfone hollow fiber plasma separator by animal experiments", *Artif Organs*, Volume: 25, (2001), pp. 60-63.
- [4] Changsheng Zhao, Xiangdong Liu, Motoyoshi Nomizu, Norio Nishi, "Blood compatible aspects of DNA-modified polysulfone membrane-protein adsorption and platelet adhesion", *Biomaterials*, Volume: 24, (2003), pp. 3747-3755.
- [5] Pampuch R., Błażewicz S., Chłopek J., Powroźnik A., Wajler

- C., Pamuła E., "Włókniste i kompozytowe materiały węglowe", *Inżynieria Materiałowa*, Volume 5, (1993), pp. 116-118.
- [6] Błażewicz M., *Węgiel jako biomateriał*, Prace komisji Ceramicznej PAN, Ceramika 63, 2001.
- [7] Teoh S.H., Tang Z.G., Hastings G.W., "Thermoplastic polymers in biomedical applications - structures, properties and processing", Black J., Hastings G., (Ed.) *Handbook of biomaterial properties*, (1998), Chapman & Hall, London.
- [8] Ratner B.D., Hoffman A.S., Schoen F.J., Lemons J.E., editors "Biomaterials science: an introduction to materials in medicine", San Diego: Academic Press, 1996.
- [9] Ramakrishna S., Mayer J., Wintermantel E., Kam W. Leong, "Biomedical applications of polymer-composite materials: a review", *Composites Science and Technology*, Volume: 61, (2001), pp. 1189-1224.

ZMIANA TWARDOŚCI POLIETYLENU W IMPLANTOWANYCH PANEWKACH ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO

JANUSZ OTFINOWSKI*, JOANNA KOWAL**, ANNA ŻMIHORSKA-GODFRYD***

*KLINIKA REHABILITACJI,
COLLEGIUM MEDICUM UNIwersYTETU JagIELLOŃskiego.
**ZAKŁAD CHEMII FIZYCZNEJ I ELEKTROCHEMII
WYDZIAŁU CHEMII UNIwersYTETU JagIELLOŃskiego.
***ZAKŁAD TECHNOLOGII TWORZYW SZTUCZNYCH,
WYDZIAŁ CHEMICZNY, POLITECHNIKA RZESZOWSKA, RZESZÓW

Streszczenie

Autorzy przedstawili w pracy wyniki badania twardości próbek polietylenu pochodzącego z panewek endoprotez stawu biodrowego, usuniętych od chorych podczas operacji rewizyjnych, wykonanych po różnie długich okresach implantacji. Stwierdzono wyraźny spadek twardości materiału po jego implantacji do organizmu. Nie stwierdzono natomiast prostej zależności pomiędzy stopniem utraty twardości a czasem eksploatacji endoprotezy.

Stosowane w chirurgii ortopedycznej biomateriały musi cechować wyjątkowo duża wytrzymałość mechaniczna. Dotyczy to zwłaszcza materiałów używanych do produkcji endoprotez stawów, które poddawane są w trakcie ich eksploatacji dużym obciążeniami zarówno statycznym, jak i dynamicznym. Powszechnie stosowanym materiałem implantacyjnym w chirurgii ortopedycznej jest polietylen stanowiący integralną składową większości stosowanych protez stawów. Z licznych już publikacji wiadomo, że materiał ten podlega w trakcie eksploatacji w organizmie znacznym zmianom fizykochemicznym dotyczącym jego struktury krystalicznej, jak również składu chemicznego [1, 3, 4, 5].

Powstaje pytanie, czy obserwowanym zmianom składu i struktury implantowanego polietylenu towarzyszą także zmiany jego własności mechanicznych. Aby odpowiedzieć

CHANGING HARDNESS OF POLYETHYLENE IN ACETABULAR CUPS OF HIP JOINT PROSTHESES

JANUSZ OTFINOWSKI*, JOANNA KOWAL**, ANNA ŻMIHORSKA-GODFRYD***

*KLINIKA REHABILITACJI,
COLLEGIUM MEDICUM UNIwersYTETU JagIELLOŃskiego.
**ZAKŁAD CHEMII FIZYCZNEJ I ELEKTROCHEMII
WYDZIAŁU CHEMII UNIwersYTETU JagIELLOŃskiego.
***ZAKŁAD TECHNOLOGII TWORZYW SZTUCZNYCH,
WYDZIAŁ CHEMICZNY, POLITECHNIKA RZESZOWSKA, RZESZÓW

Abstract

The authors presented results of hardness tests on polyethylene samples taken from the acetabular cups of hip prostheses. The polyethylene cups were removed from patients at the time of hip revision surgery performed after different periods of prostheses exploitation. The results showed significant decrease of hardness of implanted polyethylene in comparison with new one but there was no direct dependence between the level of decrease and duration of prosthesis implantation.

Biomaterials used in orthopaedic surgery must be characterized by exceptionally high mechanical strength. This is particularly crucial for materials used to produce joint endoprostheses, which are exposed to high static and dynamic load during the period of use. A commonly used implantation material in orthopaedic surgery is polyethylene, being an integral constituent of most joint prostheses. Many publications have demonstrated that, being implanted in the human organism, this material is exposed to significant physical and chemical changes both in its crystalline structure and chemical composition [1, 3, 4, 5].

A question arises whether the observed changes in the implanted polyethylene composition and structure are also accompanied by changes in its mechanical properties. In

na to pytanie przeprowadziliśmy badania twardości próbek polietylenu, pochodzących z używanych panewek endoprotez stawu biodrowego, usuniętych od chorych w trakcie operacji rewizyjnych.

Materiał i metodyka

Do badań użyto 8 próbek polietylenu o wysokiej masie cząsteczkowej UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) pochodzącego z panewek endoprotez stawu biodrowego tego samego typu endoprotezy. Jedna próbka, oznaczona numerem 0, pochodziła z nowej, nie używanej panewki, natomiast pozostałe 7 pochodziło z panewek używanych, usuniętych od chorych po różnie długich okresach implantacji, wynoszących od 14 do 96 miesięcy. Przygotowane próbki miały kształt płaskich pierścieni grubości 4 mm, o gładkich równoległych powierzchniach. Pomiar twardości UHMWPE wykonano w oparciu o PN-93/C-89030/01 metodą wciskania kulki przy pomocy aparatu Brinella [2]. Twardość -H- wg tej metody jest definiowana jako iloraz obciążenia i powierzchni odcisku spowodowanego przez kulkę po określonym czasie działania tego obciążenia [2,6].

$$H = \frac{F}{\pi Dh}$$

gdzie:

H - twardość, [N/mm²]

D - średnica kulki, 5 mm

h - głębokość odcisku, [mm]

F - obciążenie, [N].

Nr próbki	Czas eksploatacji [miesiące]	Twardość [MPa]
0	0	24,56
1	14	16,58
2	24	13,46
3	24	10,59
4	36	12,21
5	60	16,06
6	72	12,55
7	96	14,56

TABELA 1. Twardość panewek polietylenowych wyznaczona metodą wciskania kulki przy pomocy aparatu Brinella.

Wyniki

Uzyskane wyniki dla próbek pochodzących z endoprotez nie używanych i używanych zestawiono w TABELI 1 oraz na RYSUNKU 1.

Omówienie

Liczne publikowane dotąd dane wykazały, że implantowany do organizmu ludzkiego polietylen zmienia z czasem swoje właściwości fizykochemiczne. Wykazano, że zmia-

order to answer this question, we have conducted hardness tests on polyethylene samples taken from used acetabular cups of hip joint prosthesis removed from patients during revision operations.

Material and methodology

8 high molecular weight polyethylene samples (UHMWPE - Ultra High Molecular Weight Polyethylene) taken from the same type of hip joint prosthesis were used for the tests. One sample, marked by 0, came from a new, not used polyethylene cup, while the remaining 7 came from used cups, removed from patients after different periods of implantation, ranging from 14 to 96 months. The prepared samples had a shape of 4 mm thick flat rings, with smooth parallel surfaces. UHMWPE hardness test was made on the basis of PN-93/C-89030/01 using the method of ball impressing with a Brinell apparatus (2). According to this method, hardness -H- is defined as a quotient of load and surface of the ball impression after a specific time of impressing [2,6].

$$H = \frac{F}{\pi Dh}$$

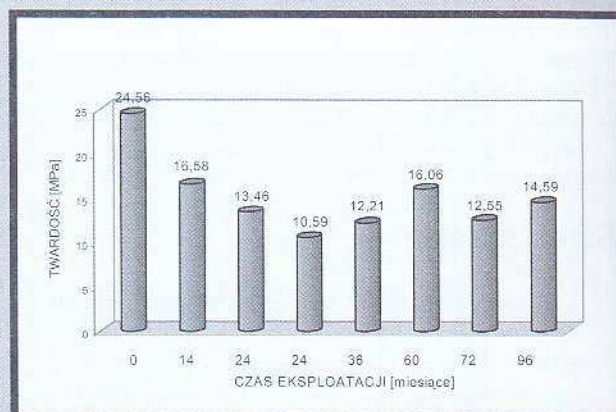
where:

H - hardness, [N/mm²]

D - diameter of the ball, 5 mm

h - depth of impression, [mm]

F - load, [N].



RYS. 1. Zależność twardości polietylenu od czasu eksploatacji endoprotez.

Results

The results of hardness tests on polyethylene taken from new and used cups are presented on TABLE 1 and FIGURE 1.

Discussion

Many past publications have proved that polyethylene implanted in the human organism changes its physical and chemical properties with time. It has been proved that its

nie ulega jego struktura krystaliczna, a także skład chemiczny [4,5]. Przedstawione powyżej wyniki przeprowadzonych przez nas pomiarów wykazują, że zmianie ulega również twardość implantowanego materiału. Z zestawienia w TABLE 1 wyraźnie widać, że w trakcie eksploatacji endoprotez stawu biodrowego twardość polietylenu tworzącego panewki ulega wyraźnemu obniżeniu. Stwierdzenie tego faktu ma istotne znaczenie, gdyż twardość materiału, zwłaszcza w przypadku endoprotezy stawu biodrowego, ma decydujący wpływ na jego właściwości eksploatacyjne i trwałość wyniku przeprowadzonej operacji. Nieuniknionym następstwem obniżenia twardości polietylenu będzie bowiem większa podatność panewki na odkształcanie. W tej sytuacji ucisk metalowej główki protezy może spowodować trwałą deformację polietylenowej panewki powodując inkongruencję implantowanego stawu. Może to spowodować nierównomierny rozkład obciążeń prowadzący do szybszego zużycia polietylenu w miejscach nadmiernie obciążonych. Efektem tego będzie nadmierne szybkie zużycie materiału powodujące uwalnianie dużej ilości ścieranego materiału do otaczających tkanek. Wyzwalac to może miejscowe reakcje zapalne prowadzące do szybszego obłuzowania wszczepionej endoprotezy stawu biodrowego [7].

Analiza przedstawionych wyników wykazuje wyraźny brak korelacji pomiędzy stopniem utraty twardości a czasem eksploatacji polietylenu w organizmie - RYS.1. Wynika z tego, że, podobnie jak zmiany chemiczne, tak i zmiany właściwości mechanicznych polietylenu przebiegają w sposób przypadkowy i nieuporządkowany. Świadczy to o niedoskonałości polietylenu jako materiału implantacyjnego, zwłaszcza w przypadkach, gdy ma być poddawany dużym obciążeniom mechanicznym, jak to ma miejsce endoprotezach stawu biodrowego.

Wnioski

1. Twardość polietylenu ulega wyraźnemu zmniejszeniu po jego implantacji do organizmu ludzkiego.
2. Nie stwierdzono prostej korelacji pomiędzy twardością materiału a czasem implantacji.

Piśmiennictwo

- [1] Balcerowiak W., Otfinowski J., Pawelec A. Analiza przyczyn przedwczesnego zużycia polietylenowych panewek endoprotez stawu biodrowego. Inżynieria Biomateriałów. 2000, Nr. 9, 14-17.
- [2] Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych, wyd. II zmienione, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2000.
- [3] Otfinowski J., Pawelec A.: Wady polietylenu jako przyczyny niepowodzeń w alloplastyce stawu biodrowego. Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol., 1997, 6, 505-510.
- [4] Otfinowski J., Pawelec A.: Changing crystallinity of polyethylene in the acetabular cups of Weller hip prosthesis. J. Bone Joint Surg., 1995, 77-B, 802-805.

crystalline structure and chemical composition change [4,5]. The aforementioned results of our tests prove that the implanted material hardness is also subject to change. Data in TABLE 1 and FIGURE 1 clearly show that during the period of use of hip joint endoprosthesis, the hardness of polyethylene gets significantly reduced. This fact is of great importance, as material hardness, especially in the case of hip joint endoprosthesis, has a principal effect on its operating properties and durability of the operation. An inevitable effect of reduced polyethylene hardness will be greater acetabular cup susceptibility to deformation. In this situation, the pressure of metal prosthesis head may lead to permanent polyethylene cup deformation, resulting in implanted joint incongruence. This may cause unequal load balance, leading to faster polyethylene wear in places of excessive load. An effect will be too fast material wear, making great quantities of abraded material be released to the neighbouring tissues. This may cause local inflammatory reactions leading to faster loosening of the implanted hip joint prosthesis [7].

The analysis of the results presented above shows a significant lack of correlation between the degree of hardness loss and the time of polyethylene implantation in the organism. This prompts a conclusion that changes in polyethylene mechanical properties, like the chemical changes, have an accidental and unordered character. This proves imperfection of polyethylene as an implantation material, especially in situations when it is exposed to high mechanical load, as in the case of hip joint prosthesis.

Conclusions

1. There is significant reduction in hardness of polyethylene in implanted hip prosthesis.
2. There is significant lack of correlation between the degree of hardness decrease and duration of prosthesis implantation.

References

- [5] J. Otfinowski, J. Kowal, B. Czajkowska, A. Więcek, A. Pawelec, B. Frańczuk. - Zmiany struktury chemicznej wysokocząsteczkowego polietylenu - UHMWPE -w implantowanych endoprotezach stawu biodrowego. Inżynieria Biomateriałów. 2001, Nr 14, str. 7-9
- [6] Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości: PN-93/C-89030/01 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie twardości metodą wciskania kulki, Wydawnictwa Normalizacyjne "ALFA", Warszawa, 1993.
- [7] Z. Rudzki, J. Otfinowski, J. Stachura - The histological appearance of the periprosthetic capsule in failed total hip arthroplasty differs depending on the presence of polyethylene acetabulum damage, Iliac bone injury and presence of infection. Patologia Polska, 1996, 47, 1, 19-25.