

- [1] <http://www.medycynasportowa.pl/index.php?go=farmakoterapi&a&artykul=kwas-hialuronowy>.
- [2] <http://www.pharmsupply.com.pl/140-40e17d4e6a758.htm>.
- [3] J.K. Francis Suh, H.W.T. Matthew "Application of chitosan – based polysaccharide biomaterials in cartilage tissue engineering: a review" *Biomaterials* 21, (2000), s. 2589 – 2598.
- [4] R.Barbucci, S.Lamponi, A.Borzacchoello, L.Ambrosio, M.Fini "Hyaluronic acid hydrogel in the treatment of osteoarthritis" *Biomaterials* 23, (2002), s. 4503-4513.

WPŁYW RODZAJU MEDIUM SMAROWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE POLIETYLENU UHWMPE STOSOWANEGO W ENDOPROTEZACH STAWU KOLANOWEGO

MAREK JAŁBRZYKOWSKI*, ALEKSANDER IWANIAK**, PIOTR WOJCIECHOWSKI***, DAMIAN KUSZ***

*KATEDRA MATERIALOZNAWSTWA, POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, 15-351 BIAŁYSTOK, UL. WIEJSKA 45C

**KATEDRA NAUKI O MATERIAŁACH, POLITECHNIKA ŚLĄSKA, 40-019 KATOWICE, UL. KRASIŃSKIEGO 8

***KATEDRA I KLINIKA ORTOPEDII I TRAUMATOLOGII NARZĄDÓW RUCHU, ŚLĄSKA AKADEMIA MEDYCZNA, 40-635 KATOWICE, UL. ZIOŁOWA 45/47

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań tribologicznych próbek wykonanych z polietylenu stosowanego na wkładki endoprotez stawu kolanowego. Badania prowadzono celem porównania wielkości tarcia oraz zużycia masowego polietylenu w różnych środowiskach. Testy tarcia wykonywano na testerze typu trzpień/tarcza, a przeprowadzono je w warunkach tarcia suchego oraz w środowisku modelowej cieczy smarowej, jakim był roztwór karboksymetylocelulozy. Dodatkowo wykonano też kompozycję zawierającą ciecz smarową oraz drobiney cementu kostnego. Otrzymane wyniki badań wskazują na zróżnicowane tarcie i zużycie się badanych próbek. Największe ubytki masowe zaobserwowano w środowisku cieczy zawierającej drobiney cementu kostnego.

[*Inżynieria Biomateriałów, 58-60,(2006),117-120*]

Wstęp

Dane literaturowe wskazują, że trwałość, a co zatem idzie także i funkcjonalność implantów, w tym również endoprotez stawów, nie jest zadowalająca. W tym kontekście rodzi się potrzeba oceny coraz to nowszych typów endoprotez. Jak wiadomo oprócz typu zakładanej endoprotezy, sama technika implantacji może mieć istotne znaczenie dla ich „żywności” w organizmie pacjenta. Wyniki badań literaturowych świadczą, że zarówno cementowe jak i bezcementowe endoprotezy, charakteryzują się podobnymi wskaźnikami „przeżywalności”. Problem ich „żywności” jest ciągle tematem wielu prac naukowo-badawczych. Przy

- [5] Bacakova L., Filowa E., Rypacek F., Svorcik V., Stary V: Cell adhesion on artificial materials for tissue engineering. *Physiol Res* 53 (Suppl.1): S35-S45, 2004.
- [6] Bacakova L., Jungova I., Ślusarczyk A., Zima A., Paszkiewicz Z: Adhesion and growth on human osteoblast like MG63 cells in cultures on calcium phosphate-based biomaterials” *Engineering of Biomaterials* 2004, no. 38-42, p.15-18.

INFLUENCE OF THE TYPE OF LUBRICATING MEDIUM ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF UHWMPE USED IN KNEE-JOINT ENDOPROSTHESES

MAREK JAŁBRZYKOWSKI*, ALEKSANDER IWANIAK**, PIOTR WOJCIECHOWSKI***, DAMIAN KUSZ***

*DEPARTMENT OF MATERIALS TECHNOLOGY, BIAŁYSTOK TECHNICAL UNIVERSITY, 15-351 BIAŁYSTOK, UL. WIEJSKA 45C

**DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE, THE SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 40-019 KATOWICE, UL. KRASIŃSKIEGO 8

*** DEPARTMENT AND CLINIC OF ORTHOPAEDIC, MEDICAL UNIVERSITY OF SILESIA, 40-635 KATOWICE, UL. ZIOŁOWA 45/47

Abstract

The paper presents the results of tribological investigations of some samples made of polyethylene applied for knee-joint endoprosthesis inserts. The aim of the research was to compare the friction magnitude and mass wear of polyethylene in different environments. Friction tests were carried out on a pin-on-disc tester in dry friction conditions and in an environment of model lubricating liquid, which in this case was a carboxymethylcellulose solution. In addition, a compound lubricant consisting of lubricating liquid and bone cement molecules was prepared. The obtained research results show varied friction and wear of the samples investigated. The highest mass decrement was observed in a liquid environment containing bone cement molecules

[*Engineering of Biomaterials, 58-60,(2006),117-120*]

Introduction

The literature data show that durability and, in consequence, the functionality of implants, including endoprostheses of joints, is not satisfactory. In this context, a need arises to evaluate the more and more modern types of endoprostheses. As commonly known, apart from the type of endoprosthesis, it is the implantation technique that may be of high importance to its „life” in patient’s organism. The results of literature investigations show that both cemented and non-cemented endoprostheses are characterized by similar „survival” rates. The issue of their „life” is a recurring subject of many research and scientific studies. It should be emphasized that the most frequent reasons for revision

czym należy podkreślić, że najczęstszymi przyczynami operacji rewizyjnych, obok powikłań medycznych, głównie zakażeń bakteryjnych, są obłuzowania elementów nośnych oraz zużycie polietylenowych wkładek. Znane jest także niekorzystne oddziaływanie cementu kostnego na trwałość wszczepionych u pacjentów endoprotez. W literaturze opisane zostało jego negatywne oddziaływanie, głównie dla stawu biodrowego, związane przede wszystkim z przebudową tkanki kostnej wokół trzpienia implantu [1÷8].

Mając powyższe na uwadze w niniejszej pracy podjęto się badań tribologicznych i oceny tarcia oraz zużywania polietylenowych próbek pobranych z nowej wkładki endoprotezy. Badania prowadzono, w różnych środowiskach smarownych, także zawierających drobiny cementu kostnego. Chciano uzyskać informacje, jak cement kostny będzie wpływał na zjawiska tarcia, w przypadku, gdy jego drobiny znajdują się w układzie pary tarczej, co może mieć miejsce podczas zakładania samej endoprotezy.

Materiały i metodyka badań

Do badań wykorzystano próbki z fabrycznie nowej wkładki polietylenowej. Badania tribologiczne prowadzono przy tarcia na sucho (S), w środowisku wodnym 1% roztworu karboksymetylocelulozy (K), oraz w mieszaninie wodnej 1% roztworu karboksymetylocelulozy z drobinami cementu kostnego (K+C) o granulacji z przedziału 200÷ 400 μm . Dla celów badawczych z wkładki polietylenowej pobrano próbki w postaci trzpień oraz przygotowano metaliczne krążki (tarcze) wykonane ze stali narzędziowej NC6. Wybór stali narzędziowej jako przeciwpróbki podyktowany był tym, iż oceniano właściwości tribologiczne polietylenowej wkładki jako elementu najbardziej podatnego na zużycie w tym węźle tarcia. Z uwagi na to właściwości tribologiczne przeciwpartnera pominięto. Widok przykładowej endoprotezy oraz miejsca pobrania próbek, przedstawiono na RYS.1.

Metodyka badań

Badania tribologiczne przeprowadzono z wykorzystaniem standardowego testera tarcowego typu trzpień/tarcza (RYS.2). Po wstępnych testach tarcowych ustalono następujące parametry badań: nacisk jednostkowy – $p=15$ MPa, prędkość ślizgania – $v=0,15$ m/s, czas tarcia – $t=8$ h. Za miarę właściwości tribologicznych polietylenu przyjęto wartość współczynnika tarcia oraz zużycie masowe próbek. Zużycie masowe próbek polietylenu oceniano za pomocą wagi cyfrowej Mettler Toledo typ XS205DV z dokładnością do $1 \cdot 10^{-5}$ g.

Wyniki badań i dyskusja

Otrzymane w efekcie przeprowadzonych badań wartości współczynnika tarcia dla różnych mediów smarownych przedstawiono na RYS.3. Z wykresu wynika, że największe wartości współczynnika tarcia uzyskano przy tarcia na sucho. Wartości współczynników tarcia dla próbek badanych z udziałem przygotowanych substancji smarownych,

operations, apart from medical complications, such as bacteria infection, are: loosening of load-bearing elements and the wear of polyethylene inserts. An adverse effect of bone cement on the durability of endoprostheses implanted in some patients is known as well. The literature describes its negative influence, in particular on the hip joint, which is first of all connected with bone tissue reconstruction around the implant stem [1÷8].

Bearing the foregoing in mind, tribological investigations and an assessment of friction and wear of polyethylene samples taken from a new endoprosthesis insert were undertaken under this study. The authors wanted to obtain information on how bone cement influences the friction phenomena in the case when its molecules are present in the friction couple system, which may take place during the implantation of an endoprosthesis

Research material and methodology

Samples from a brand new polyethylene insert were used for the investigations. The tribological investigations were conducted under dry friction conditions (S) in a water environment of 1% carboxymethylcellulose (K) and in a water mixture of 1% carboxymethylcellulose with bone cement of granulation from the range of 200÷ 400 μm (K+C). For the investigation purposes, some samples were taken from a polyethylene insert in the form of pins, and some metal discs were made of the tool steel grade NC6. The choice

of tool steel as a counterspecimen was dictated by the fact that the factor to be evaluated were the tribological properties of the polyethylene insert as the element most susceptible to wear in that friction couple. For this reason, the tribological properties of the counter-partner were passed over. A view of an example of endoprosthesis and the sampling places is shown in FIG.1.

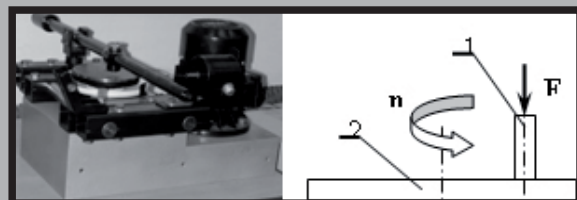
Research methodology

The tribological research was conducted using a standard pin-on-disc friction tester (FIG.2). After preliminary friction tests, the following test parameters were determined: unit pressure – $p=15$ MPa, sliding speed – $v=0.15$ m/s,



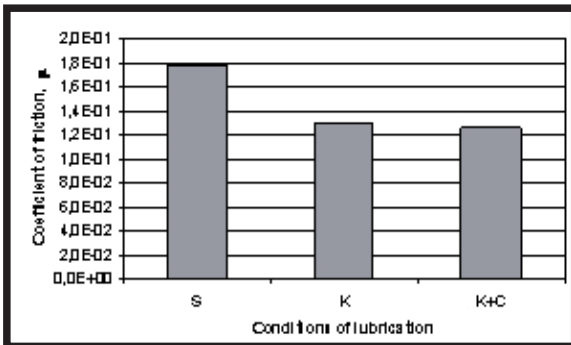
RYS.1. Obszar pobrania próbek polietylenu z powierzchni roboczej wkładki endoprotezy stawu kolanowego.

FIG.1. Area of polyethylene sampling from the working surface of a knee joint endoprosthesis insert.



RYS.2. Tribometr trzpień/tarcza: a) widok ogólny, b) schemat węzła tarcia; 1,2–elementy pary tarczowej (trzpień-polietylen UHMWPE/tarcza-stal NC6).

FIG.2. Shank/disk tribometer used for the investigation: a) general view; b) diagram of friction area; 1,2–components of the friction couple (shank- UHMWPE polyethylene/disk - NC6 steel).

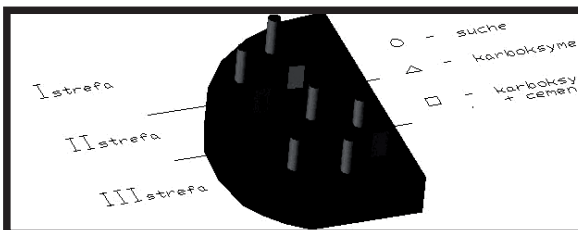


RYS.3. Wartości współczynników tarcia dla badanych próbek w różnych środowiskach smarownych.

FIG.3. Friction coefficient values for the investigated samples in different lubricating environments.

kształtują się na zbliżonym poziomie, jednak są niższe niż to w przypadku tarcia na sucho. Na uwagę zasługuje fakt, że najkorzystniejsze charakterystyki tarciowe uzyskano w przypadku testów w środowisku kompozycji smarowej z zawartością drobin cementu kostnego – K+C. Dla pełniejszej weryfikacji uzyskanych wyników przeprowadzono badania tarciowe pobierając próbki z różnych miejsc polietylenowej wkładki.

Wkładkę podzielono na 3 strefy, poczynając od strony przedniej: strefa I – przód, strefa II – środek, strefa III – tył wkładki, co przedstawiono schematycznie na RYS.4. Zaznaczono na nim także graficznie wartości współczynników tarcia w poszczególnych strefach. Jak widać z zamieszczonych danych, największe wartości współczynników tarcia uzyskano przy tarcu na sucho, niezależnie od miejsca pobrania próbki.



RYS.4. Rozkład wartości współczynników tarcia w poszczególnych strefach polietylenowej wkładki.

FIG.4. Distribution of the friction coefficient values through individual zones of the polyethylene insert.

W przypadku badań z udziałem karboksymetylocelulozy (K), stwierdzono mniejsze wartości współczynnika tarcia we wszystkich strefach. Jednocześnie zauważono, że dla kompozycji z dodatkiem drobin cementu kostnego otrzymano nieco najniższe, aczkolwiek porównywalne wartości współczynników tarcia. Mając powyższe na uwadze, można wysunąć ogólne stwierdzenie, że obecność drobin cementu kostnego w strefie tarcia, nie wpływa na pogorszenie się warunków pracy takiego węzła tribologicznego, w odniesieniu do oporów ruchu. Może to być wynikiem specyficznych właściwości tego materiału i wymaga dokładniejszych badań oraz analiz.

Odnosząc się do wyników badań tarciowych, wykonano analizę zużycia masowego badanych próbek. Na RYS.5

friction time – $t=8$ h.

The friction coefficient value and samples' mass wear were assumed to be the measure of the tribological properties of polyethylene. Mass wear of the polyethylene samples was evaluated by means of digital Mettler Toledo scales, model XS205DV, exact to $1 \cdot 10^{-5}$ g.

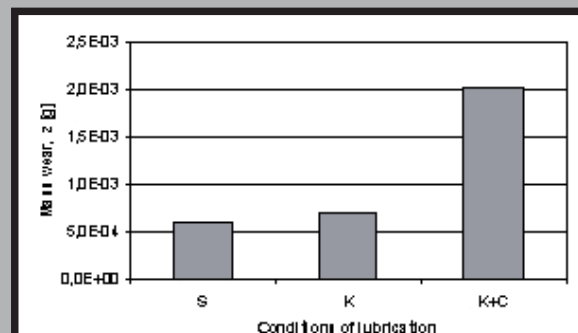
Research results and discussion

The friction coefficient values for different lubricating media, obtained as a result of the investigations, are presented in FIG.3. As results from the diagram, the highest friction coefficient values were obtained in dry friction conditions. The friction coefficient values for samples investigated with the participation of the lubricating substances prepared, represent a similar level, however, they are lower than those under dry friction conditions. What may be stressed here is the fact that the most advantageous friction characteristics were obtained in tests conducted in the environment of a lubricating substance with a bone cement molecules content, K+C. For a more complete verification of the results, friction tests were performed for samples taken from different places of the polyethylene insert.

The insert was divided into 3 zones, beginning from the front side: zone I – the front, zone II – the centre, and zone III – the back. FIGURE 4 illustrates the method of the insert's division into the zones. It also presents graphically the values of friction coefficients for individual zones. As can be seen from the data, the highest friction coefficient values were obtained under dry friction conditions, regardless of the place of sampling.

In the case of tests with the participation of the carboxymethylcellulose (K), lower friction coefficient values were found in all zones. At the same time, it was found that for compound lubricants with an addition of bone cement molecules, a little lower, although comparable friction coefficient values were obtained. Bearing this in mind, it can be generally affirmed that the presence of bone cement molecules in the friction zone does not adversely affect the operating conditions of such tribological couple, as regards resistance to motion. This may be the effect of specific properties of this material and requires more detailed research and analyses.

By referring to the friction tests results, an analysis of mass wear of the investigated samples was made. FIG.5 presents the results of those tests. As results from them, the lowest mass wear was obtained for dry friction. It turns out that higher mass wear takes place during friction in a carboxymethylcellulose (K) environment, whilst the highest, in the



RYS.5. Wyniki badań zużycia masowego próbek w badanych mediach smarownych.

FIG.5. Results of mass wear investigations of samples in the tested lubricating media.

przedstawiono wyniki tych badań, z których wynika, że najmniejsze zużycie masowe uzyskano przy tarcu na sucho. Okazuje się też, że większe zużycie masowe występuje przy tarcu w środowisku karboksymetylocelulozy (K), zaś największe w środowisku kompozycji z dodatkiem drobin cementu kostnego (K+C).

Powstaje zatem pytanie, co mogło spowodować nieco większe zużycie masowe (przy mniejszych oporach ruchu) w węźle smarowanym zawierającym karboksymetylocelulozę (K), w stosunku do węzła gdzie występuje tylko tarcie suche. Być może ciecz smarowa, w wyniku dużych nacisków powierzchniowych zmienia właściwości fizykomechaniczne warstwy wierzchniej, a konkretnie jej odporność na naprężenia ścinające. Zmniejszona odporność na naprężenia ścinające objawia się mniejszymi oporami ruchu, czego potwierdzeniem mogłyby być wyniki zamieszczone na RYS.4. Natomiast w przypadku kompozycji smarowej z dodatkiem drobin cementu kostnego, procesy tribologiczne być może przebiegają dwutorowo. Z jednej strony ciecz smarowa zmniejsza właściwości fizykomechaniczne warstwy wierzchniej, m. in. odporność warstwy wierzchniej na naprężenia ścinające, a jednocześnie dochodzi tu czynnik oddziaływania stałych drobin cementu kostnego na powierzchnię polietylenu, który działając jak ścierniwo intensyfikuje i nasila procesy zużycia.

Wnioski

W oparciu o uzyskane wyniki badań w niniejszej pracy sformułowano następujące, ogólne wnioski:

1. Wyniki badań wskazują na zróżnicowane charakterystyki tribologiczne, polietylenu UHMWPE stosowanego na wkładki do endoprotez, w zależności od warunków smarowania.
2. Najniższe wartości współczynnika tarcia i jednocześnie najwyższe zużycie masowe uzyskano dla kompozycji smarowej z zawartością drobin cementu kostnego. Być może jest to uzależnione od specyficznych właściwości tego składnika i mechanizmu działania cieczy smarowej, w obszarze warstwy wierzchniej polietylenu.
3. Podejrzewa się, że obecność cieczy stawowej wpływa na zmiany właściwości mechanicznych warstwy wierzchniej polietylenu poprzez zmniejszenie jej odporności na naprężenia ścinające. Obecność drobin cementu kostnego dodatkowo intensyfikuje procesy zużycia, który oddziałuje na powierzchnię polietylenu jak ścierniwo.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana jako projekt badawczy nr 3 T08C 029 27.

Piśmiennictwo

- [1] Raport Centrum Monitorowania Jakości w Ochronie Zdrowia: Porównanie opłacalności wybranych rodzajów endoprotez w całkowitej pierwotnej alloplastyce stawu biodrowego i kolanowego, Kraków 2002
- [2] M. Gierzyńska-Dolna: Biotribologia, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002
- [3] S. Fukupoka, K. Yosida, Y. Yamano: Estimation of the migration of tibial components In total knee arthroplasty, a roentgen stereophotogrammers analysis, J Bone Joint Surg (Br) 2000, 82-B
- [4] J. Okrajni, J. Myalski, J. Toborek, D. Kusz, J. Cybo, P. Duda: Prognozowanie zmian właściwości polietylenowej komponenty panewkowej endoprotezy stawu biodrowego, Materiały II Sympozjum: Biomechanika w implantologii, Annales Academiae Medicae Silesiensis, Śląska Akademia Medyczna, Katowice 1999

environment of a compound lubricant with an addition of bone cement molecules (K+C).

A question arises here, what the reason could have been for the slightly higher mass wear (at lower resistance to motion) in the lubricated couple containing carboxymethylcellulose (K) in relation to the couple where only dry friction was present. It may have been the lubricating liquid which, as a result of high surface pressure, changes the physicomechanical properties of the upper layer, and more specifically, its resistance to shearing stress may be reduced. The reduced resistance to shearing stress manifests itself by lower resistance to motion, the corroboration of which could be the results presented in FIG.4. In the case of the compound lubricant with a bone cement molecules addition, the tribological processes may take a two-stage course. At the first stage, the lubricating liquid changes the physicomechanical properties of the upper layer - reduces the upper layer resistance to shearing stresses, and in addition, we have to do with the action of solid molecules of bone cement which, acting as an abrasive, intensifies the wear processes.

Conclusions

Based on the research results obtained, the following general conclusions have been drawn:

1. The research results show the varied tribological characteristics of UHMWPE used for endoprosthesis inserts, depending on the lubricating conditions.
2. The lowest friction coefficient values and, simultaneously, the highest mass wear were obtained for a compound lubricant with an addition of bone cement molecules. This may depend on the specific properties of this component and the mechanism of the lubricating liquid action in the upper layer area of polyethylene.
3. It is suspected that presence of a lubricating liquid induces some changes in the mechanical properties of the polyethylene's upper layer by reducing its resistance to shearing stresses. Presence of bone cement molecules, which acts on the polyethylene surface as an abrasive, additionally intensifies the wear processes.

Acknowledgements

This work was supported by State Committee of Scientific Research (grant No. 3 T08C 029 27 in years 2004-2006).

References

- [5] M. Gierzyńska-Dolna, A. Wieczorek, P. Lacki: Procesy tribologiczne a powikłania infekcyjne w alloplastyce stawu biodrowego, Chirurgia narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 1999, R. XIII, Sup. 2
- [6] M. Gierzyńska-Dolna, W. Więckowski: Wpływ procesów tribologicznych na niepowodzenia w alloplastyce stawu biodrowego, Materiały II Sympozjum: Biomechanika w implantologii, Annales Academiae Medicae Silesiensis, Śląska Akademia Medyczna, Katowice 1999
- [7] A. Balin: Materiałowo uwarunkowane procesy adaptacyjne i trwałość cementów stosowanych w chirurgii kostnej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004
- [8] Campbell's Operative Orthopedics, t. IV, Editor: The C.V. Mosby Company ST. Louis Washington, D.C. Toronto 1987