

WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE I TRIBOLOGICZNE CIECZY SYNOWIALNEJ

JOANNA MYSTKOWSKA^{1*}, MICHAŁ KARPIŃSKI²,
MARCIN KLEKOTKA¹, JANUSZ POPKO^{2*}, JAN R. DĄBROWSKI^{1*}

¹ POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY,
KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I BIOMEDYCZNEJ,
UL. WIEJSKA 45C, 15-351 BIAŁYSTOK

² UNIwersytet Medyczny w Białymstoku,
KLINIKA ORTOPEDII I TRAUMATOLOGII DZIECIĘCEJ UDSK,
UL. WASZYNGTONA 17, 15-274 BIAŁYSTOK

* E-MAIL: J.MYSTKOWSKA@PB.EDU.PL, JPOPKO@UMWB.EDU.PL,
J.DABROWSKI@PB.EDU.PL

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań in vitro wybranych właściwości reologicznych i tribologicznych naturalnej cieczy synowialnej, pobranej od pacjentów po urazie kolana. Oceniano lepkość dynamiczną w funkcji prędkości ścinania oraz współczynnik tarcia dla pary tribologicznej, wykonanej ze stopu kobaltu, testowanej w środowisku mazi stawowej. Otrzymane wyniki badań wykazały różnice pomiędzy testowanymi próbkami w zakresie przeprowadzonych badań.

Słowa kluczowe: ciecz synowialna, lepkość, biotribologia, współczynnik tarcia
[Inżynieria Biomateriałów, 122-123, (2013), 64-65]

Wprowadzenie

Drugim, co do wielkości, stawem w organizmie człowieka jest staw kolanowy. Jednym z istotnych aspektów decydujących o efektywności biomechanicznej tego stawu są zjawiska tarcia na współpracujących powierzchniach. Medium smarującym w tym układzie jest ciecz synowialna, zapewniająca prawidłowe funkcjonowanie stawu [1,2].

Prawidłowy płyn stawowy ma kolor od bezbarwnego do słomkowego oraz pH 7,2-7,4 i charakteryzuje się sporą lepkością [3]. Jednak w pewnych sytuacjach patologicznych i chorobowych dochodzi do zmian w składzie chemicznym płynu stawowego. Mało jest prac badawczych na temat wpływu tych zmian na biomechaniczne właściwości płynu stawowego.

Celem niniejszej pracy jest ocena właściwości smarnych (badania reologiczne i tribologiczne) płynu stawowego w stanach pourazowych.

Materiały i metody badań

Badaniom poddano ciecz synowialną pobraną od 6 pacjentów w wieku: 10-22 lata, którzy doznali urazu kolana.

Badania reologiczne przeprowadzono przy wykorzystaniu reometru RheoStress 6000, firmy HAAKE. Podczas badań oceniano wpływ prędkości ścinania na wartość lepkości dynamicznej. Pomiar lepkości dynamicznej wykonano przy zastosowaniu układu stożek-płytki. Testy tribologiczne zostały przeprowadzone przy użyciu tribometru z zastosowaniem geometrii pomiarowej typu trzpień-tarcza. Para tribologiczna (trzpień i tarcza) została wykonana ze stopu CoCrMo. Badania tarcia wykonane w środowisku naturalnej cieczy synowialnej. Testy te przeprowadzono przy zastosowaniu następujących parametrów: zmienny nacisk jednostkowy w strefie tarcia: 1, 5, 10 MPa; czas tarcia pojedynczej próby t = 1 h. Podczas badań oceniano współczynnik tarcia.

RHEOLOGICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SYNOVIAL FLUIDS

JOANNA MYSTKOWSKA^{1*}, MICHAŁ KARPIŃSKI²,
MARCIN KLEKOTKA¹, JANUSZ POPKO^{2*}, JAN R. DĄBROWSKI^{1*}

¹ BIALYSTOK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,
DEPARTMENT OF MATERIALS AND BIOMEDICAL ENGINEERING,
WIEJSKA 45C, 15-351 BIALYSTOK, POLAND

² MEDICAL UNIVERSITY OF BIALYSTOK, DEPARTMENT OF CHILDREN
ORTHOPAEDICS AND TRAUMATOLOGY UDSK,
WASZYNGTONA 17, 15-274 BIALYSTOK, POLAND

* E-MAIL: J.MYSTKOWSKA@PB.EDU.PL, JPOPKO@UMWB.EDU.PL,
J.DABROWSKI@PB.EDU.PL

Abstract

The aim of the work was the assessment of rheological and tribological properties of natural synovial fluids from patients with knee trauma. A viscosity in function of shear rate and coefficient of friction were evaluated. Wear tests were made using pin-on-disc tester in a synovial fluid environment. The obtained results clearly indicate differences between synovial samples.

Keywords: synovial fluid, viscosity, biotribology, coefficient of friction
[Engineering of Biomaterials, 122-123, (2013), 64-65]

Introduction

Taking into account the size of human joints, the second one is knee joint. One of the significant aspects, which decide about biomechanical effectiveness of this knee are friction phenomena at cooperating surfaces. The lubricating medium in this system is synovial fluid, which provides the correct knee functionality [1,2].

The healthy synovial fluid has colour from colourless to straw and pH 7.2-7.4 and is characterized by high viscosity [3]. However, at some pathological and morbidity situations some changes in chemical composition of synovial fluid occurred. There are not sufficient research works about the influence of these changes on biomechanical synovial fluid properties.

The aim of this work is the evaluation of lubricating properties (rheological and tribological investigations) of synovial fluid during knee trauma.

Materials and methods

Samples for tests were synovial fluids acquired from the knee joints of six patients (10-22 years old) after knee trauma (1 and 30 days after trauma).

Rheological tests were conducted using the RheoStress 6000 rheometer of the HAAKE company. The viscosity of the studied synovial fluids as a function of shear rate was determined. Rheological investigations were made using cone-plate geometry. Friction tests were conducted using a pin-on-disc tester in a synovial fluid environment. The friction pair consisted of the following pair of materials: CoCrMo alloy (pin) – CoCrMo alloy (disc). Friction tests were conducted with the observance of the following testing parameters: average unit pressure p = 1, 5, 10 MPa, friction time (for each unitary load) t = 1 h. Friction force was registered during wear tests. After tribological testing, microscope observations of sample surfaces were made.

Po badaniach tribologicznych, dokonano obserwacji mikroskopowych powierzchni próbek w celu określenia rodzaju zużycia materiału.

Wyniki i dyskusja

Wyniki badań lepkości dla wybranych 4 przypadków (2 płyny po 1 dniu od urazu i 2 płyny po 30 dniach od urazu), zamieszczono na RYS. 1. Wyniki te potwierdzają nienewtonowski charakter cieczy synowialnej [4]. Wyniki wskazują na niewielkie różnice w analizowanej właściwości płynu stawowego pomiędzy poszczególnymi przypadkami. Lepkość wynosiła ok. 0,01 Pas przy prędkości ścinania $\gamma = 5 \text{ s}^{-1}$ oraz ok. 0,005 Pas przy $\gamma = 150 \text{ s}^{-1}$.

Kolejny etap badań objął testy tarciove analizowanych płynów. Podczas badań tribologicznych zmierzono siły tarcia, na podstawie których obliczono współczynniki tarcia par tribologicznych wykonanych ze stopu kobaltu. Wartości współczynnika tarcia dla cieczy testowanych po 1 dniu od urazu mieszczą się w granicach 0,18-0,25, a dla cieczy przy 30-dniowym urazie - współczynnik tarcia wynosi około 0,17. Właściwości smarne cieczy synowialnej pobranej od pacjentów niedługo po urazie kolana są gorsze w porównaniu do właściwości cieczy utrzymującej się w stawie miesiąc od urazu. Różnice te wynikają z innego składu obu cieczy oraz z faktu ustępowania stanu zapalnego kolana, odbudowywania się jego pierwotnej struktury, co w rezultacie prowadzi do poprawy właściwości smarnych płynu stawowego.

Obserwacje mikroskopowe powierzchni śladu tarcia wykazały, że w strefie tarcia pary kinematycznej stopu CoCrMo - CoCrMo w środowisku naturalnej cieczy synowialnej dochodzi głównie do zużycia ściernego z elementami zużycia zmęczeniowego.

Wnioski

Badania reologiczne wykazały, że płyn stawowy, pobrany z pourazowego kolana wykazywał właściwości cieczy nienewtonowskiej. Współczynnik tarcia dla płynu pobranego po 30 dniach od momentu urazu kolana był niższy w porównaniu do cieczy po świeżym urazie. Można więc wnioskować, że właściwości smarne mazi stawowej, pobranej z kolana po urazie, ulegają poprawie wraz z upływem czasu.

Podziękowanie

Praca naukowa sfinansowana ze środków pracy statutowej Katedry Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej (Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, S/WM/1/09).

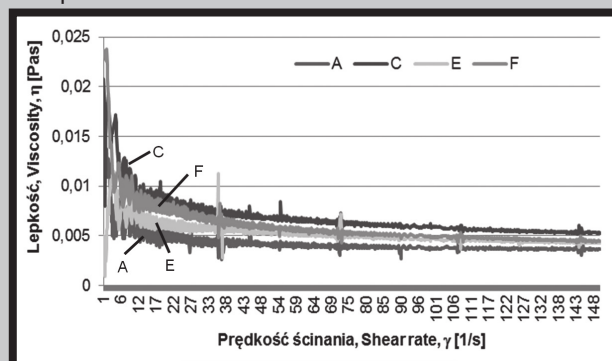
Piśmiennictwo

- [1] Unsworth A.: Recent developments in the tribology of artificial joints. *Tribology Int.*, 7 (1995) 485-495.
- [2] Mazucco D., Scott R., Spector M.: Composition of joint undergoing total knee replacement and revision arthroplasty: correlation with flow properties. *Biomaterials*, 25 (2004) 4433-4445.
- [3] Chernyakova Y.M., Pinchuk L.S.: The synovial joint as an "intelligent" friction unit. *J Frict Wear* 28(4) (2007) 389-394.
- [4] Altman R.D.: Status of hyaluronan supplementation therapy in osteoarthritis, *Current Rheumatology Reports* 5 (2003) 7-14.

References

Results and Discussion

FIG. 1 presents selected results of rheological tests of experimental synovial fluids taken from four patients (2 fluids after 1 day of trauma and 2 fluids after 30 days of trauma). The figure shows changes in viscosity as a function of shear rate. The obtained results confirm the non-newtonian properties of synovial fluids [4]. During tests were observed some differences between tested synovial samples. The greatest viscosity (0.01 Pas) of the synovial fluids was observed for the shear rate $\gamma = 5 \text{ s}^{-1}$ and the lowest (0.005 Pas) at shear rate $\gamma = 150 \text{ s}^{-1}$.



RYS. 1. Lepkość cieczy synowialnej w funkcji prędkości ścinania: A,C – 30 dni od urazu, E,F – 1 dzień po urazie kolana.

FIG. 1. Viscosity of synovial fluids in function of shear rate: A,C – 30 days after trauma, E,F – 1 day after knee trauma.

The second essential element of the work was tribological testing. During wear tests the friction forces were measured in aim to calculate the coefficients of friction for cobalt alloy tribological pairs. It results from these studies that coefficients of friction for synovial fluids tested after 1 day from trauma was about 0.18-0.25, and for fluids tested after 30 days from trauma was about 0.17. Thus, it could be noted that lubricating properties of synovial fluids taken from patients just after trauma are worse in comparison to fluids taken from knee joint after one month after trauma. These differences are because of different chemical composition of both types of fluids, regeneration of damaged knee joint, which in fact result in better lubrication properties of synovial fluid.

The microscopic observations of cobalt alloy surfaces after tribological tests in a synovial fluid environment indicated that mainly abrasive wear with elements of fatigue wear has occurred.

Conclusions

Rheological investigations indicated that synovial fluids taken from trauma knee joint were non-newtonian fluids. The coefficient of friction obtained in environment of fluids taken 30 days after knee trauma was lower in comparison to fluid after fresh trauma. It could be concluded that lubricating properties of synovial fluid taken from knee joint after trauma, are going to be improved with time.

Acknowledgement

This scientific work was financed from research funds of Statutory Work of Department of Materials and Biomedical Engineering (Faculty of Mechanical Engineering, Bialystok University of Technology), number S/WM/1/09.