

Krzysztof WIERZCHOLSKI*

TRIBOLOGIA ELIPTYCZNYCH ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO

TRIBOLOGY OF ELLIPTICAL HIP JOINT PROSTHESIS

Słowa kluczowe:

eliptyczna głowa kostna, eliptyczna endoproteza połowicza stawu biodrowego, konstrukcje, tribologia współpracujących powierzchni, eksploatacja

Key words:

elliptical bone head, elliptical half prosthesis for hip joint, constructions, tribology of cooperating surfaces, exploitation

Streszczenie

Współczesne badania eksperymentalne wyposażone w mikroskopy najnowszej generacji potwierdzają, że głowy stawu biodrowego człowieka są z natury nie sferyczne lecz eliptyczne. Kształt elipsoidy jest formowany zazwyczaj cieńszą lub grubszą warstwą chrząstki stawowej na powierzchni głowy. Badania laboratoryjne potwierdzają, że warstwa chrząstki stawowej jest najszersza na górnym biegunie a najcieńsza na równiku [L. 1, 6, 11]. Przez górny biegun

* Politechnika Koszalińska, Instytut Technologii i Edukacji, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, Polska, tel.+48 94 347-83-44, fax: +48 94 342-67-53, e-mail: krzysztof.wierzcholski@wp.pl.

eliptycznej głowy a zarazem wzdłuż najdłuższej półosi elipsoidy przebiega oś szyjki uda. Ze względu na minimalną wartość oporów tarcia najkorzystniejszy jest obrót głowy kostnej biodra po kierunku równoleżnika, czyli po kierunku równika, ponieważ bryła elipsoidy kostnej jest obrotowa. Inne kierunki obrotu są również możliwe ale odznaczają się między innymi zwiększonymi oporami tarcia spowodowanymi minimalną różnicą długości półosi elipsy w przekrojowej płaszczyźnie obrotu elipsoidalnej głowy kostnej. Praca niniejsza przedstawia niektóre aspekty konstrukcji i eksploatacji w zakresie współpracy powierzchni eliptycznych endoprotezy stawu biodrowego, jak również omówione zostaną korzyści wynikające ze współpracy połowicznej endoprotezy eliptycznej z eliptyczną głową kostną.

W przypadku zniszczonej panewki wszczepienie eliptycznej endoprotezy połowicznej panewki ułatwia współpracę z eliptyczną głową kostną.

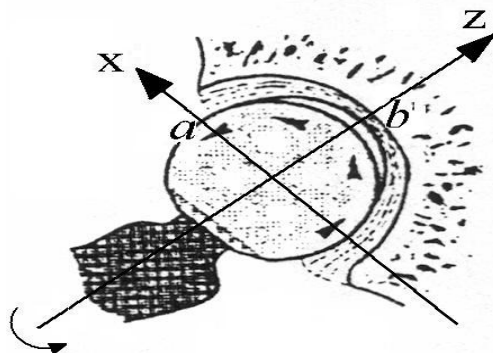
WPROWADZENIE

Cathcard R.F. [L. 1, 2] na podstawie anatomicznych badań i klinicznych doświadczeń zapoczątkował ideę eliptycznych endoprotez stawu biodrowego człowieka. Liczne dalsze badania naukowe całych zespołów badaczy publikowane w literaturze naukowej z zakresu chirurgii ortopedycznej jak również protetyki dotyczącej w szczególności stawów biodrowych człowieka dowodzą, że głowa eliptycznej endoprotezy stawu biodrowego jest z punktu widzenia biomechaniki oraz anatomii lepiej dostosowana do normalnej panewki (acetabulum) aniżeli sferyczna głowa endoprotezy [L. 3–12]. Taka wiedza doświadczalna inspiruje do rewizji dotychczasowych kształtów połowicznych i całkowitych endoprotez stawu biodrowego człowieka.

Anatomiczne badania doświadczalne przeprowadzone na pozyskanych chirurgicznie głowach stawu biodrowego człowieka wykazały, że głowa kostna stawu biodrowego człowieka nie jest sferyczna, lecz ma kształt eliptyczny [L. 11, 12]. Najczęściej przyczyną tego faktu jest asymetryczny rozkład grubości warstwy chrząstki stawowej i jej warstwy wierzchniej zalegającej na powierzchni głowy kostnej. Najgrubsza warstewka chrząstki znajduje się na górnym i dolnym biegunie pokazanym na **Rys. 1** wzdłuż osi wiodącej z kości udowej poprzez szyjkę nasady bliższej kości uda.

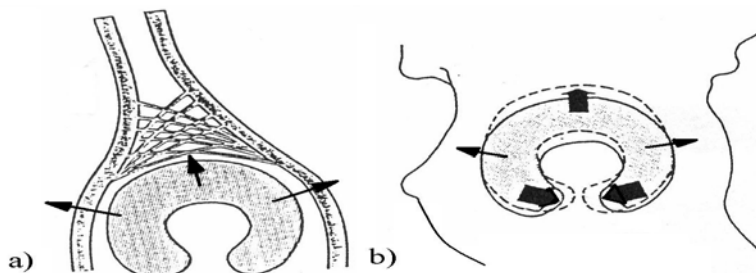
Najcieńsza warstwa chrząstki leży na równiku głowy kostnej. Panewka stawu biodrowego człowieka ma natomiast budowę bardzo złożoną ze względu na morfogenezę, architekturę kształtu oraz właściwości biomechaniczne. Ostrołukowa gąbczasta kość ustala i wytycza granice warstwy korowej o kształcie gotyckiego łuku. **Rys. 2** pokazuje, że taka budowa pozwala amortyzować obciążenia przekazywane od eliptycznej a jednocześnie półksiężycowej powierzchni głowy kostnej do panewki [L. 7, 8, 9]. Niejednorodna grubość warstwy chrząstki stawowej na półksiężycowej powierzchni eliptycznej głowy kostnej gwarantuje znakomite dopasowanie zarówno geometryczne, jak również bio-

mechaniczne w zakresie wzajemnych oddziaływań naprężeń oraz powstających deformacji pomiędzy głową kostną a panewką [L. 10, 11].



Rys. 1. Eliptyczny kształt głowy kostnej stawu biodrowego

Fig. 1. Elliptical shape of the hip joint bone head

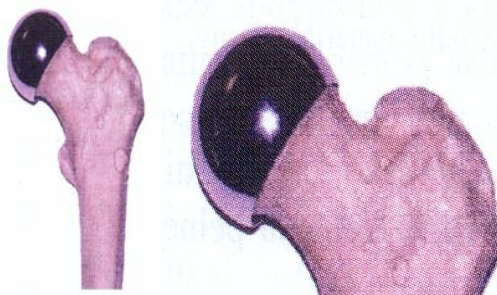


Rys. 2. Dopasowanie głowy eliptycznej do panewki: a) gąbczaste przewężenie panewki i dolegająca głowa, b) tendencje ruchów odkształcalnych powierzchni głowy

Fig. 2. Arrangement between acetabulum and bonehead: a) the spongy acetabulum bone, b) tendencies of deformability micro-motions of bone-head surfaces

KAPOPLASTYKA A ELIPTYCZNA GŁOWA KOSTNA BIODRA

Kapoplastykę zwaną również oszczędną endoprotezoplastyką zastosowano po raz pierwszy w 1923 roku [L. 3]. Kapę pokazuje **Rys. 3**. Jedną z przyczyn rezygnacji ze stosowania tej metody leczenia była różnica twardości kapy i kości, która powodowała wypadanie kapy do miednicy. Innym powodem rezygnacji było niedopasowanie eliptycznej powierzchni do półsferycznej kapy. Na tę przyczynę niepowodzeń nie zwracano wtedy jeszcze uwagi.



Rys. 3. Kapa Smitha-Petersona

Fig. 3. Smith-Peterson-cope

Źródło/Source: Garlicki M., Kreczko R.: Arthrosis deformations coxae, PZWL, Warszawa 1974.

W ostatnim czasie powrócono do metody leczenia kapoplastyką. Na głowę kości udowej nakładano czop osadzony na cemencie kostnym z krótkim trzpieciem pokazanym na **Rys. 4**.

a)



b)



Rys. 4. Ulepszone sferyczne kapy bez eliptycznych kształtów: a) przed osadzeniem, b) po osadzeniu

Fig. 4. Improved spherical cope without elliptical shapes: a) before setting, b) after setting

Źródło/Source: Cwanek J.: Przydatność parametrów struktury powierzchni do oceny stopnia zużycia sztucznych stawów biodrowych, Univ. Rzeszowski, 2009.

Trzpień uniemożliwia częste wypadanie kapy. Dziesięcioletnie, chociaż jeszcze zbyt krótkie, obserwacje dowiodły, że trzpień nie zapobiega całkowitemu obluzowaniu kapy o kształcie półsferycznej oraz nie zapobiega w zupełności złamaniu szyjki kości udowej. Zdaniem autora takie niepożądane efekty mogłyby ulec zmniejszeniu, gdyby stosowano kapy o kształtach półeliptycznych bardziej dostosowanych do niesferycznej powierzchni głowy kostnej biodra. Kształt eliptyczny kapy zmniejsza moment skręcający powodujący przedwczesne złamanie szyjki kości udowej.

Największą wadą kapoplastyki niezależną od kształtu kapy jest występowanie martwicy głowy kości udowej bezpośrednio pod kapturkiem kapy [L. 3].

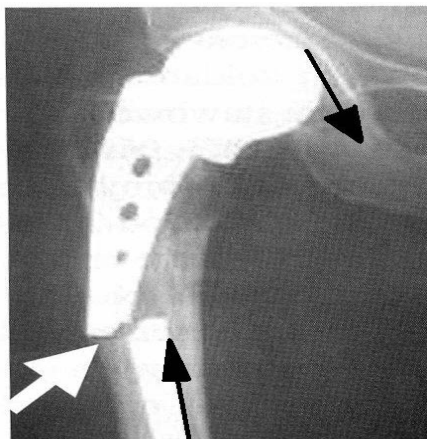
ELIPTYCZNE ENDOPROTEZY POŁOWICZE

Chociaż sferyczne endoprotezy połowicze stawu biodrowego człowieka jako pierwsze wykonane z kości słoniowej były wszczepione już w 1922 roku przez Dubelta i Hey-Grovesa [L. 3], a następnie w 1946 roku, w 1949 roku przez Augustina Morre [L. 3] i w 1952 roku, to jednak pierwszą eliptyczną endoprotezę wszczepił dopiero R.F. Cathcard w 1971 roku [L. 2]. Głowy pierwszych endoprotez były przyspawane do trzpienia, natomiast późniejsze osadzone na sworzniu. Pomysł Cathcarda z eliptyczną głową endoprotezy nie był jednak rozwijany. Bardziej zwracano uwagę na trzpień aniżeli na głowę [L. 3]. Dlatego też w miarę dokonującego się postępu w leczeniu zmian zwyrodnieniowych stawu biodrowego przypadających na połowę lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku zaczęto stosować sztuczne stawy z elastycznym trzpieniem wykonanym z dodatkiem bioalcamidu. Jest to polimer typu amid połączony z wodą. Ma za zadanie zwiększać własności plastyczne i zmniejszać sztywność materiału nasady bliższej stawu biodrowego. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku zaczęto wprowadzać połowicze endoprotezy modułowe.

Z powodu dalszego niezadowolającego leczenia zmian zwyrodnieniowych stawu biodrowego poprzez stosowanie kapoplastyki lub wszczepianie endoprotezy połowiczej rozpoczęto badania nad skonstruowaniem całkowitego sztucznego stawu wraz z panewką.

Opisane wysiłki naukowe wyeliminowały część, ale nie wszystkie niezadowolające efekty leczenia. Przyczyna tego stanu rzeczy leży również zdaniem autora w niedopasowaniu endoprotezy do konkretnej geometrii stawu oraz w tym, że stosujemy głowy sferyczne, a nie eliptyczne. Dlatego też w przypadku większych wysiłków pojawiają się wzmożone siły tarcia na skutek niedopasowania powierzchni. Rzadziej zwiększone są przypadki złamania trzpienia [L. 13]. Takie złamania trzpienia są tłumaczone na ogół wadą odlewniczą lub szpotawym osadzeniem trzpienia w kości udowej [L. 3]. Jednakże powodem złamania trzpienia jest również moment zginający skręcający wytworzony na skutek siły tarcia wywołanej pomiędzy niedopasowaną głową kostną do eliptycznej geometrii panewki z jednej strony oraz siłą osiową panującą w kości udowej pokazaną na Rys. 5.

Brak uwzględnienia trudnych do oszacowania efektów stochastycznych odchyłek standardowych [L.12] wywołanych niedopasowaniem sferycznej głowy kostnej do eliptycznych powierzchni panewki naturalnej staje się przyczyną powstania destruktywnego momentu zginającego przedstawionego na Rys. 5.



Rys. 5. Moment zginający i skręcający wywołany siłą tarcia niedopasowanej sferycznej a nie eliptycznej głowy jako jedną z przyczyn złamania trzpienia endoprotezy Augustyna Morre'a

Fig. 5. Bending and torsion caused by the friction forces from not arrangement spherical instead elliptical prosthesis head as a ground of the break of the Augustin Morre prosthesis pin

WNIOSKI

Niniejsza praca przedstawia i uzasadnia niektóre przyczyny dotychczasowych niepowodzeń w alloplastyce polegające na lokalnie wzmoczonych siłach tarcia i nacisku wywołujących dodatkowe naprężenia skutkujące złamaniem trzpienia endoprotezy.

Jako jedną z przyczyn niepowodzeń alloplastyki podaje się stosowanie sferycznej a nie eliptycznej głowy w połowicznych jak i całkowitych endoprotezach oraz w kapach kapoplastyki.

LITERATURA

1. Borkowski P., Kędzior K., Pawlikowski M., Skalski K.: Expandable non-invasive endoprostheses for growing patients. Proc. 7th ICB Polish-Japan Seminar on Technologies In Future Artificial Organs, ICB no. 66, 2005, 71–79.
2. Cathcard R.F.: The shape of the femoral head and preliminary results of clinical use of non-spherical hip prosthesis. Journal of Bone and Joint Surgery 1972, 54 A, 1559.
3. Cwanek J.: The usability of the surface geometry parameters for the evaluation of the artificial hip joint wear. Rzeszów University Press, Rzeszów 2009.
4. Dąbrowski M., Pawlikowski M.: Ocena rozwiązania konstrukcyjnego implantowanej endoprotezy stawu biodrowego. Materiały Konferencyjne Majówka Młodych Biomechaników, 2008, 35–40.

5. Fischer L.P., Oliver H.: Les prothese femorales simples. *Revue Cir. Orthop.* 1979, 4, 125.
6. Gaździk T.: *Podstawy ortopedii i reumatologii narządu ruchu.* Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.
7. Kennedy W.R.: Treating femoral neck fractures with the Cathcard prosthesis-a preliminary report, *Contemporary Orthopedics* 1982, 4, 1–6.
8. Kummer B.: Anatomie fonctionnelle et biomechanique de la hanche. *Acta Orthop. Belg.* 1978, 44, 94.
9. Markolf K.L., Amstutz H.C.: Compressive deformations of the acetabular during the in vitro loading., *Clin. Orthoped.* 1983, 172–284.
10. Molfetta L., Pipino F.: Anatomia e biomeccanica dell' acetabolo, *Arch. Ortop. Reumat.* 1989, 102–167.
11. Pipino F., Molfetta L.: The elliptical femoral prosthesis, *Hip International*, vol. 1, No. 1, 1991, 39–44.
12. Simone C., Patella V., Moretti B., Molfetta L., Pesce V., Vavalle G.: Short term clinical results with an elliptical femoral prosthesis, *Hip international*, Vol. 5, No. 1, 1995, 15–19.
13. Vanderdriessche F., Verdonk R., Van Dooren J., Claessens H.: The Augustin Moore Prosthesis- a long term follow up. *Acta Orthop. Belgica*, 1983, 49, 483.
14. Wiercholski K.: Stochastic impulsive pressure calculations for time dependent human hip joint lubrication, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol. 14, No. 4, 2012, 81–100.

PODZIĘKOWANIE

Badania częściowo finansowane ze środków grantu Europejskiego FP-7 PEOPLE-2013-IRSES w latach 2013–2015.

Summary

The presented paper shows and gives the reasons for the contemporary failures occurring in alloplastic (human hip joint prosthesis) performances such as the locally boosted friction forces and stresses and breaks of the prosthesis pin. This paper was motivated by the application of a spherical rather than elliptical head of a prosthesis that is not sufficiently adapted to the elliptical geometry of the natural acetabulum surfaces. The negative effects are enlarged by the stochastic standard effects occurring during the prosthesis exploitation. Numerous contemporary studies and experimental measurements regarding the human hip joints indicate that the femoral head is in fact naturally elliptical. Therefore, the elliptical head in hip prosthesis must be better adapted to the elliptical surface geometry of the natural acetabulum in comparison with the spherical head. Half prostheses of hip joints are applied when joint acetabulum cartilage is well

maintained. In the half prosthesis, the head is welded to the spindle or seated to the pin. When acetabulum cartilage is worn (used), a complete prosthesis is implanted. The elliptical femoral prosthesis was designed to solve the problem of the relationship between the femoral prosthesis head and the anatomical acetabulum and to minimize the various incidence of wear protrusion and pain effects. Performed clinical tests indicate that elliptical prosthesis heads have the most advanced technological shapes, because they are based on the anatomy and biomechanics features of the natural human hip joint. The biomechanics of an elliptical head femoral prosthesis can be taken as the appropriate shape in respect to the treatment of medical fractures of the neck of the femur. Taking into account the hydrodynamic theory of the lubrication of cooperating surfaces, we must find pressure distributions, friction forces, friction coefficients, and wear. To prepare these calculations, we first determine and calculate the fields of the regions of lubrication on the internal surface lying on the elliptical femoral prosthesis (i.e. acetabulum) and on the external elliptical surface of the artificial bone or femoral head.