

BIOMINERALOGICAL PHENOMENON IN HIP JOINT ENDOPROSTHESES.

Zjawiska biomineralogiczne w endoprotezach stawu biodrowego.

Maciej Pawlikowski*,

*/ AGH – University of Science and Technology, Cath. Mineralogy, Petrography and Geochemistry,
Cracow, Poland. e-mail: mpawlik@agh.edu.pl

Abstract

Tests were performed on elements of hip joint endoprostheses regarding aging of the materials, structures of the metals as well as the cements used to fix the implant to the bone. “Worn out” elements of endoprostheses after different periods of functioning were also studied. It was determined that aging of the polymers leads to their cracking, which shortens the time of proper functioning of the acetabula and the whole artificial joints. In the “working” metal elements (femoral heads) creation of micro slag bits in the steel was observed. Those bits break out from the steel during the functioning of the hip joint, damaging the surface finishing of the head of the implant and the inner surface of the acetabulum. Long-term load on the acetabula leads to changes in the atomic structure of the polypropylene that they are built of. That causes the acetabula to wear out faster. Two-component fixing cements that were tested contained air bubbles as a result of mixing the components. Their presence weakens the endoprostheses stabilization, accelerating the necessity to replace it.

Keywords: hip joint, endoprostheses, acetabula, metal elements

Streszczenie

Wykonano badania elementów endoprotez stawu biodrowego pod kątem starzenia się materiałów, rozpoznania struktur stosowanych metali oraz cementów służących do fiksacji endoprotez. Badaniom poddano także „zużyte” elementy endoprotez po różnych okresach ich funkcjonowania.

Stwierdzono, że starzenie się polimerów prowadzi to ich spękania przez co skraca się czas prawidłowego funkcjonowania panewek i całych sztucznych stawów. W „pracujących” elementach metalowych (głowy endoprotez) zaobserwowano w stali wtrącenia mikro żużelków, które po wykruszeniu się ze

stali pod czas stawu biodrowego niszczą gładź powierzchni głowy endoprotezy oraz wewnętrzną powierzchnię panewki. Długotrwałe obciążenie panewek prowadzi do zmiany struktury atomowej polipropylenu z którego wykonane są panewki. To pociąga za sobą szybsze niszczenie obciążanej panewki.

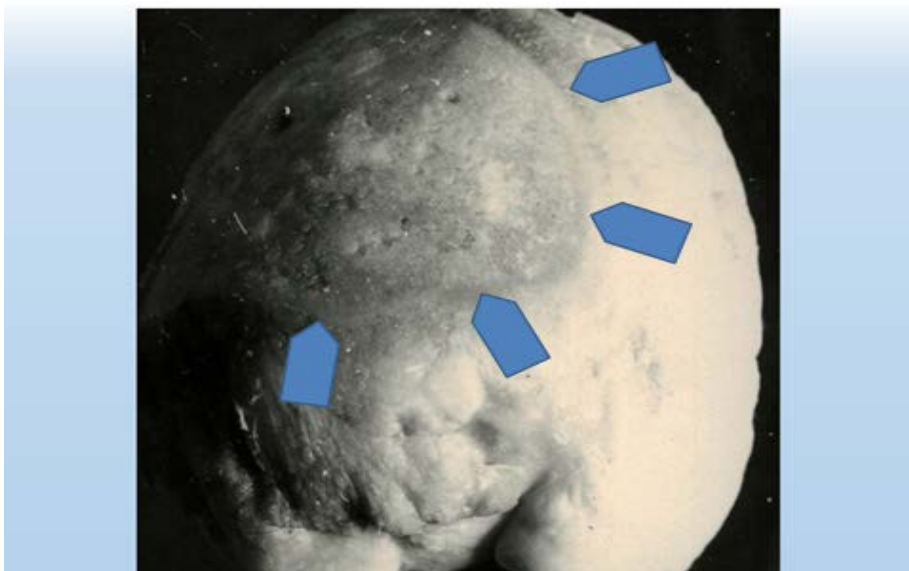
Badane, dwuskładnikowe cementy fiksujące endoprotezę zawierały bąble powietrza, co jest efektem mieszania składników. Ich obecność osłabia stabilizację endoprotezy przyspieszając konieczność jej wymiany.

Słowa kluczowe: staw biodrowy, endoprotezy, elementy metalowe

Wstęp

Stosowanie endoprotez stawów jest w ortopedii coraz częstsze i coraz skuteczniejsze. Dlatego istotnym jest rozpoznanie jakości materiałów stosowanych w ortopedycznych zabiegach ich wszczepiania. Jakość materiałów, obok technik chirurgicznych jest jednym z głównych czynników decydujących o prawidłowości zabiegu oraz długości czasu prawidłowego funkcjonowania endoprotez.

Przyczyną dysfunkcji stawów w tym także stawu biodrowego są między innymi zmiany w chrząstce stawowej w tym jej biomineralizacja powstająca w wyniku krystalizacji w zdefektowanym strukturalnie kolagenie. (Pawlikowski 2017, w druku). Wspomniana biomineralizacja prowadzi do zmian właściwości kolagenu chrząstki, której efektem jest tworzenie się w chrząstce stref o podwyższonej twardości prowadzące do zupełnego starcia chrząstki i często do unieruchomienia stawu (Fot. 1, 2, 3).

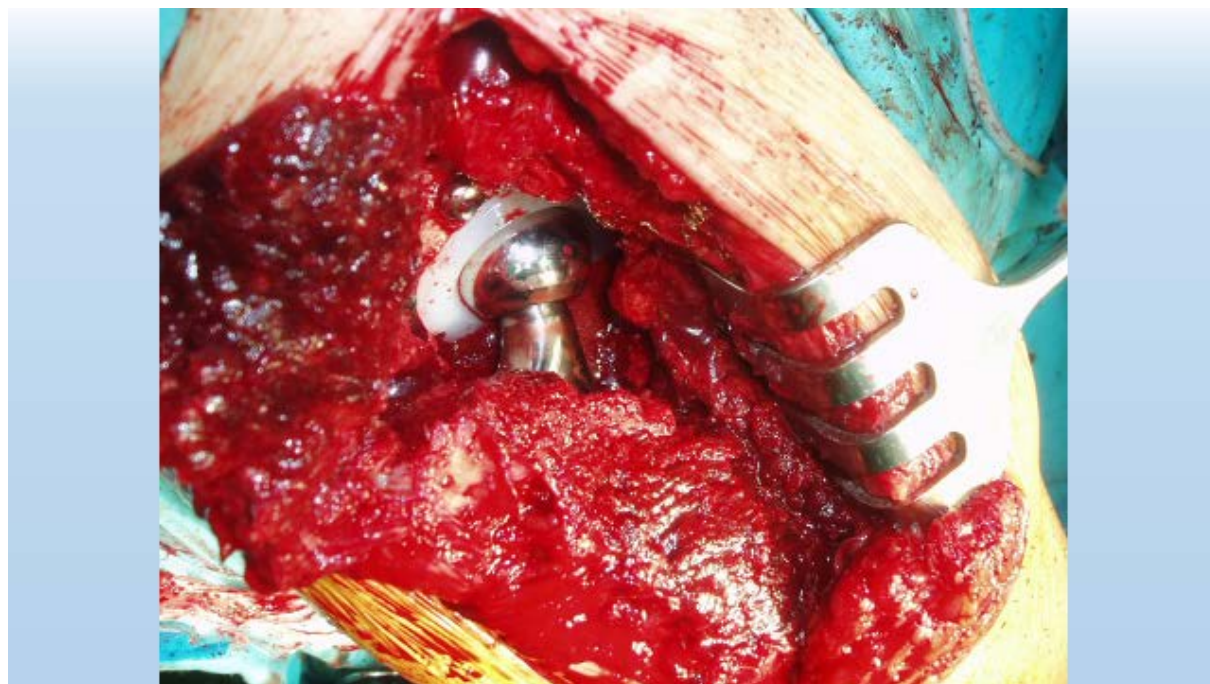


Fot. 1 Głowa kości udowej z obszarem zupełnie startej chrząstki (strzałki).

Do zbadania elementów endoprotez wybrano elementy protez

przetrzywane długo przed wszczepianiem oraz pooperacyjne endoprotezy stawu biodrowego. Materiały do badań autor otrzymał dzięki uprzejmości prof.

dr n. med. Tadeusza Niedźwiedzkiego ze szpitala im. Rydygiera w Krakowie.
Za otrzymane materiały składam mu serdeczne podziękowania.



Fot. 2 Obraz końcowej fazy zabiegu wszczepiania endoprotezy (Fot. prof. T. Niedźwiedzki).

W publikacji, ze względu na ograniczenia objętościowe przedstawiono wybrane wyniki badań endoprotez. Pozostałe informacje zawiera zgromadzona literatura (1-26). Badania finansowane z własnych funduszy autora.



Fot. 3 Rentgenowskie obrazy wszczepionych endoprotez - jednej lewa fot. i dwóch - prawa fot. (Fot. prof. T. Niedźwiedzki).

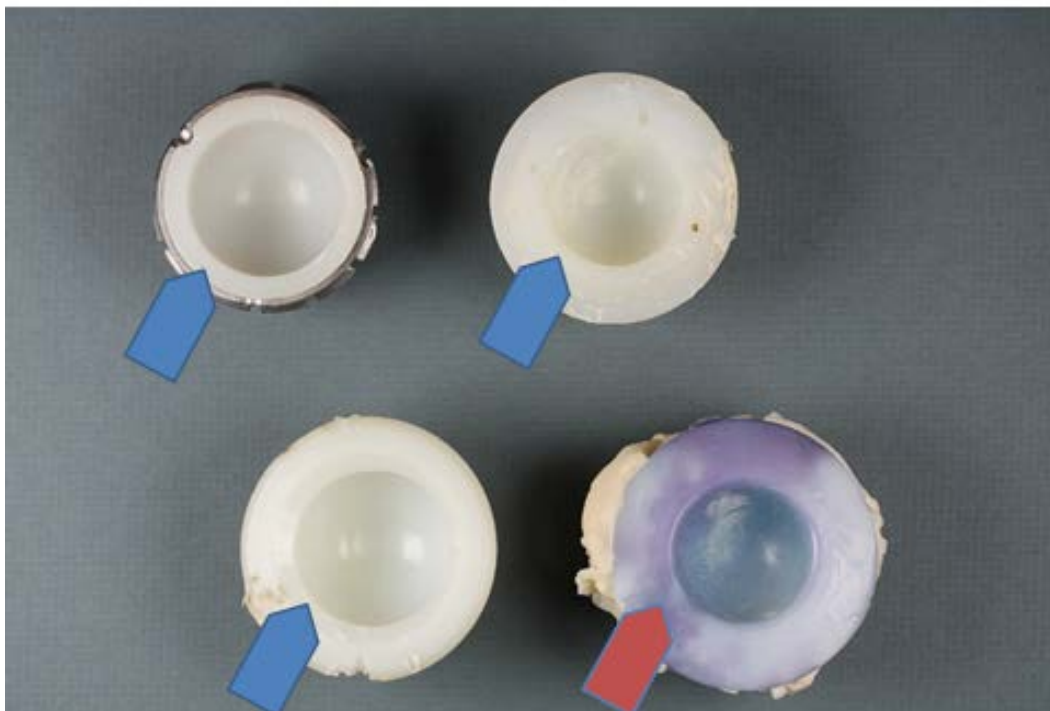
Panewki

W badaniach panewek zwrócono uwagę na panewki, które długo leżały i postarzały sprawdzające czy nie nastąpiły w nich jakieś zmiany związane z długim „leżakowaniem”. Niektóre panewki nowe posiadają we wgłębieniach charakterystyczna powierzchnię, która jest efektem obróbki polimeru i formowania zagłębienia (Fot. 4, 5A).

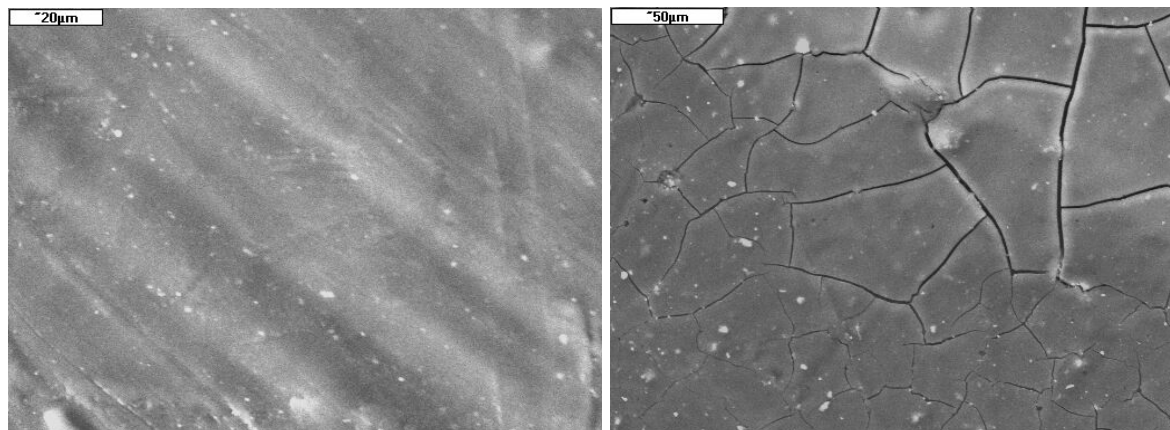
Drugi problem, któremu się przyjrzano to ewentualne zmiany w strukturze panewek w związku z długim ich używaniem.

Starzenie się panewek.

Badania panewek, które długi czas oczekiwały na wszczępienie wskazują, że może je obejmować proces starzenia polimerów prowadzący do pojawiania się niekiedy licznych spękań (Fot. 5, 6). Są one absolutnie niezauważalne gołym okiem. Konsekwencją – w przypadku wszczępienia – jest możliwość odrywania się fragmentów polimeru w trakcie ruchomości endoprotezy i dostawanie się ich w strefę współpracy głowy endoprotezy z panewką.



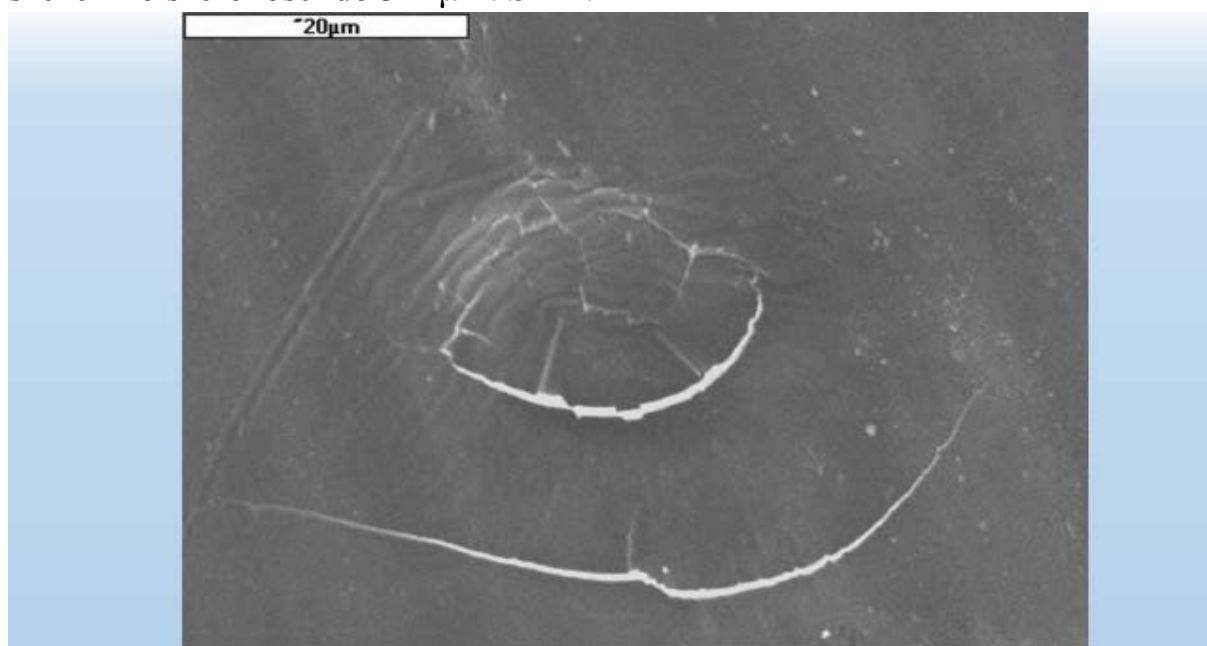
Fot. 4 Panewki poddane badaniom. Panewki nowe i długo czekające na wszczepienie (strzałki niebieskie. Jedna z panewek wyjęta ze stawu po kilku latach funkcjonowania (razem z częścią cementu fiksującego strzałka czerwona).



A

B

Fot. 5 A – Powierzchnia zagłębienia panewki obrabiana metoda skrawania SEM. B - Powierzchnia starej „zleżałej” panewki objętej procesem starzenia polimeru prowadzącym do tworzenia się domen mikrokryształicznych oraz szczelin o szerokości do 3-4 µm. SEM.



Fot. 6 Obraz wnętrza zagłębienia panewki objęty zmianami strukturalnymi związanymi ze starzeniem się polimeru. Widoczne spękania o grubości 1-2 µm. SEM

Wykonane badania wskazują, że panewki przed wszczepieniem powinny być sprawdzane – najlepiej poprzez obserwacje mikroskopowe czy nie ma w nich uszkodzeń.

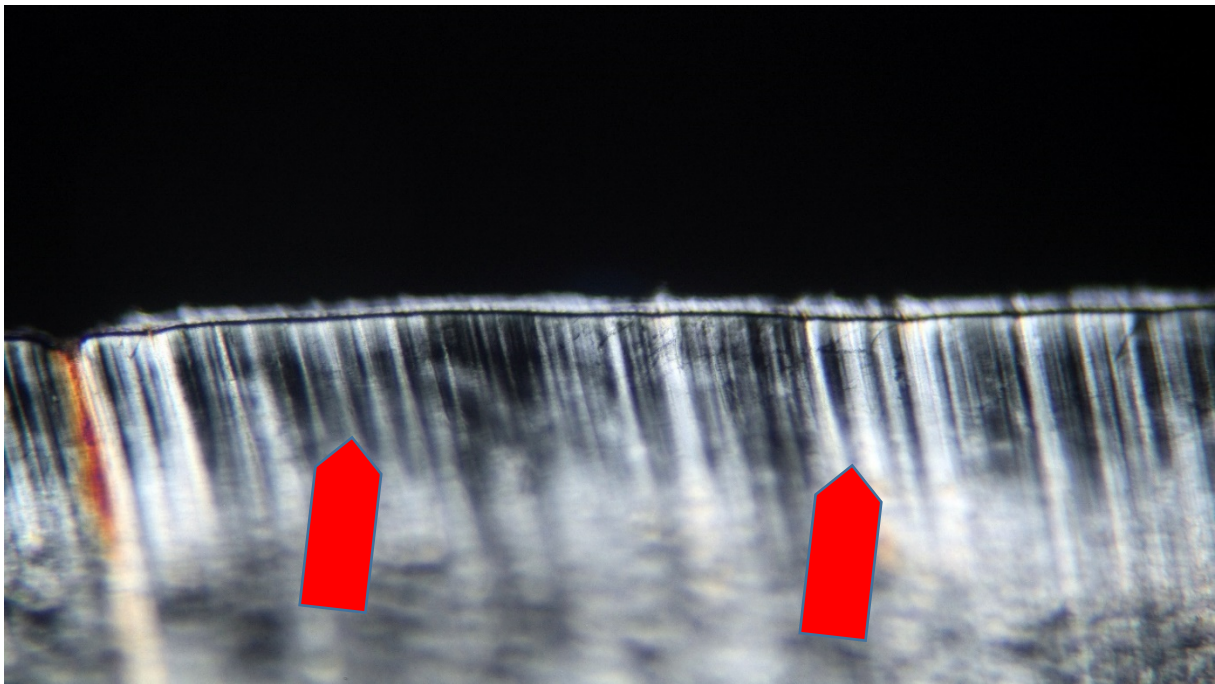
Procesy „zużywania” się elementów endoprotezy w trakcie funkcjonowania.

Procesy niszczenia się endoprotez obejmują zarówno panewki (elementy plastikowe) jak i „pracujące” elementy metalowe .

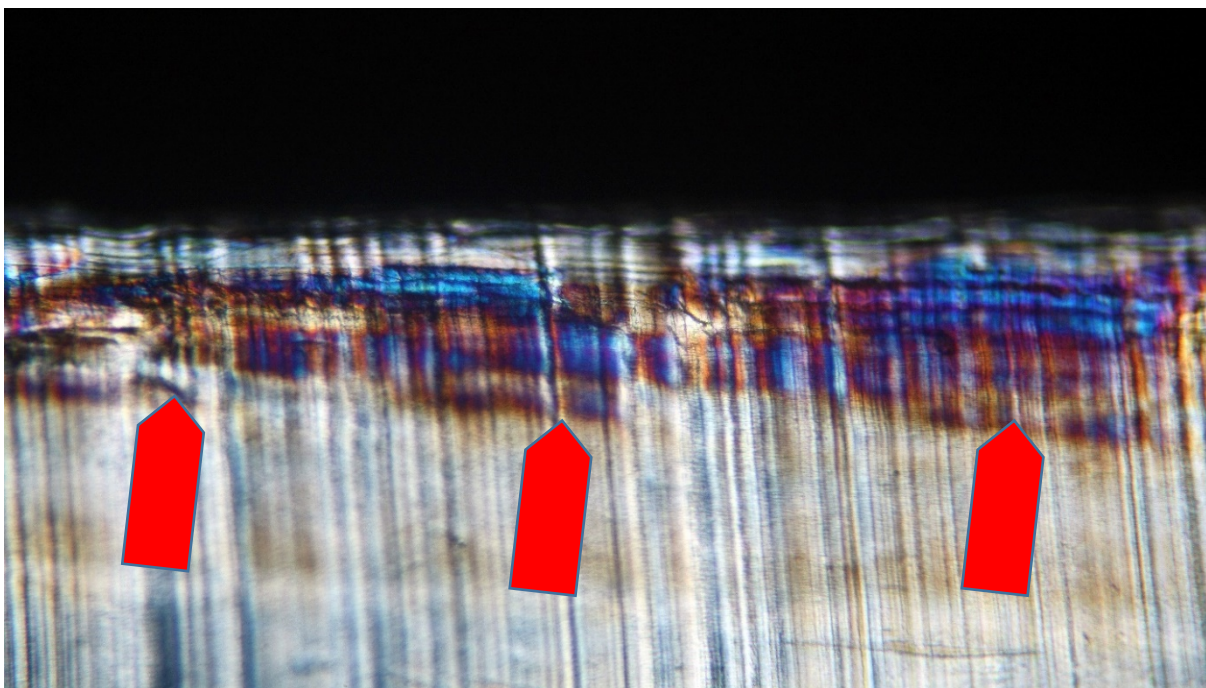
W obrębie panewek a zwłaszcza ich elementów obciążanych w wyniku chodzenia obserwuje się mikroskopowo zmiany strukturalne polegające na zmianie barw interferencyjnych światła spolaryzowanego.

Proces obróbki zagłębienia w panewkach powoduje zmiany w bardzo cienkiej warstwie powierzchniowej i są one nieznaczne. Poznaje się to pod mikroskopem po tym, że część przeznaczona do obciążania (zagłębienie panewki) ukazuje obraz mikroskopowy taki sam jak inne jej części (Fot. 7).

Panewki wyjęte ze stawów, po ich dłuższym (kilkuletnim obciążaniu) wykazują w tym samym miejscu zmiany barw interferencyjnych (Fot. 8), które są związane ze zmianami struktury atomowej polimeru. Na czym polegają te zmiany trudno powiedzieć na tym etapie badań. Wstępne obserwacje wskazują, że proces ten jest nierównomierny i prowadzi do podwyższenia twardości polimerów z których wykonana jest panewka. Zjawisko to może sprzyjać



Fot. 7. Mikroskopowy obraz przekroju nowej panewki. Strefa przypowierzchniowa (strzałki) nie wykazuje odmienności od głębszych partii panewki. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 180 x.



Fot. 8 Mikroskopowy obraz przekroju zużytej panewki. Strefa przypowierzchniowa (strzałki) wykazuje odmienności od głębszych partii panewki. Manifestuje się ona zmianą barw interferencyjnych światła spolaryzowanego. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 180 x.

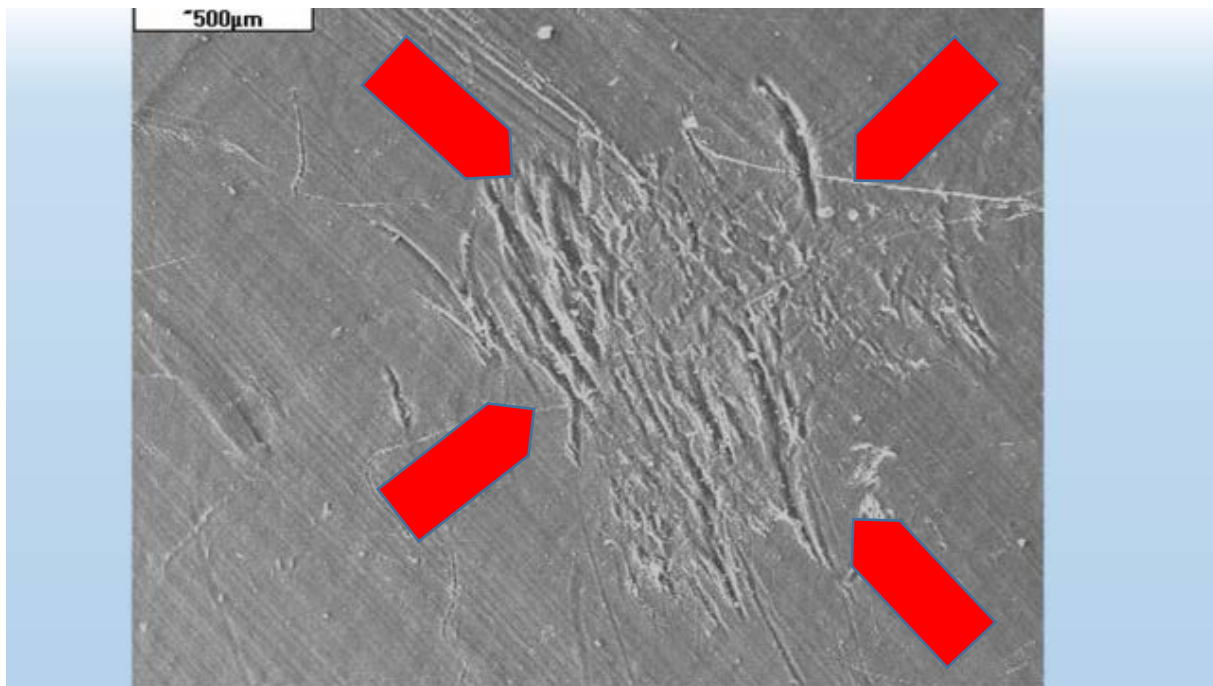
pękaniu powierzchniowych warstw panewek i przechodzenie powstałych fragmentów do przestrzeni stawowej.

Mechaniczne zniszczenia „pracującej” powierzchni panewek

Ślady zniszczenia tej powierzchni są różne i przeważnie są efektem ścierania się polimeru panewki, który jest miększy niż stalowa głowa endoprotezy.

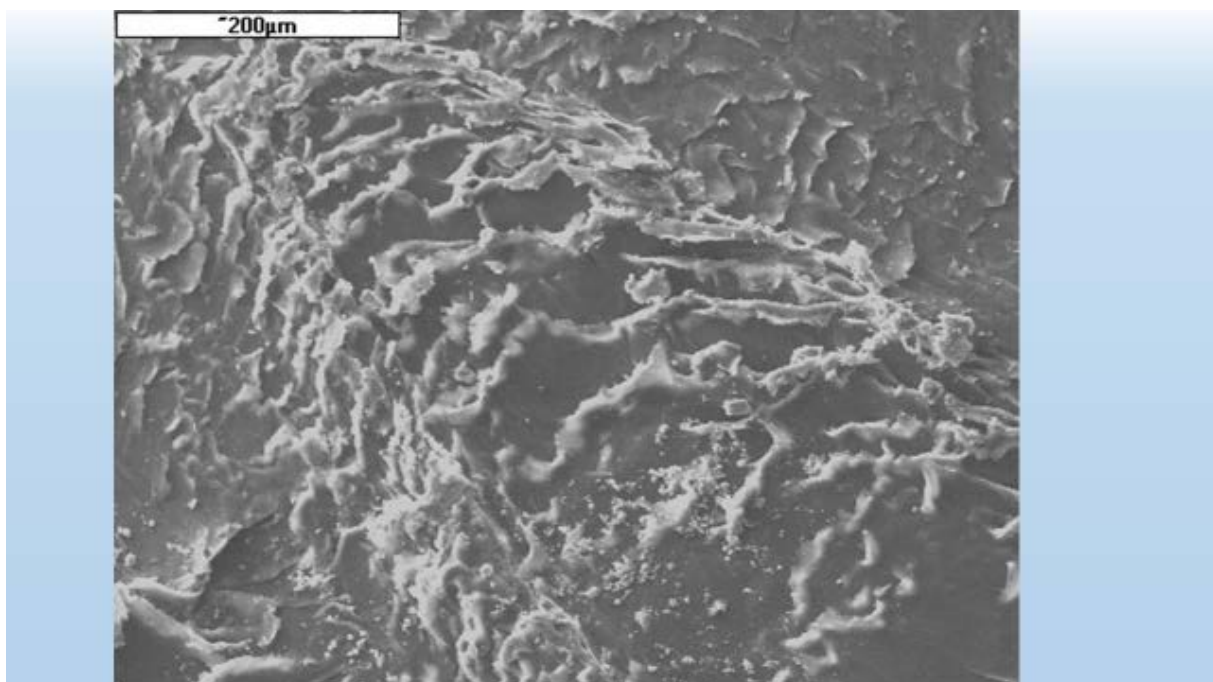
W przypadku gdy do przestrzeni stalowej endoprotezy dostaną się jakieś ciała obce (fragmenty stali lub żużelki z części stalowej) zniszczenia powierzchni panewki mają charakterystyczny wygląd i widoczny „oscylacyjny” charakter.

Powstające zagłębienie wskazują, że drobny niszczący element przemieszczał się po panewce raz w jedną raz w drugą stronę. Efektem tego zjawiska jest nie tylko zniszczenie powierzchni panewki lecz także dostawanie się drobnych fragmentów plastiku do przestrzeni stawowej endoprotezy (Fot. 9).



Fot. 9 „Oscylacyjne” ślady zniszczenia powierzchni panewki jako skutek przemieszczania się niszczonego fragmentu. SEM.

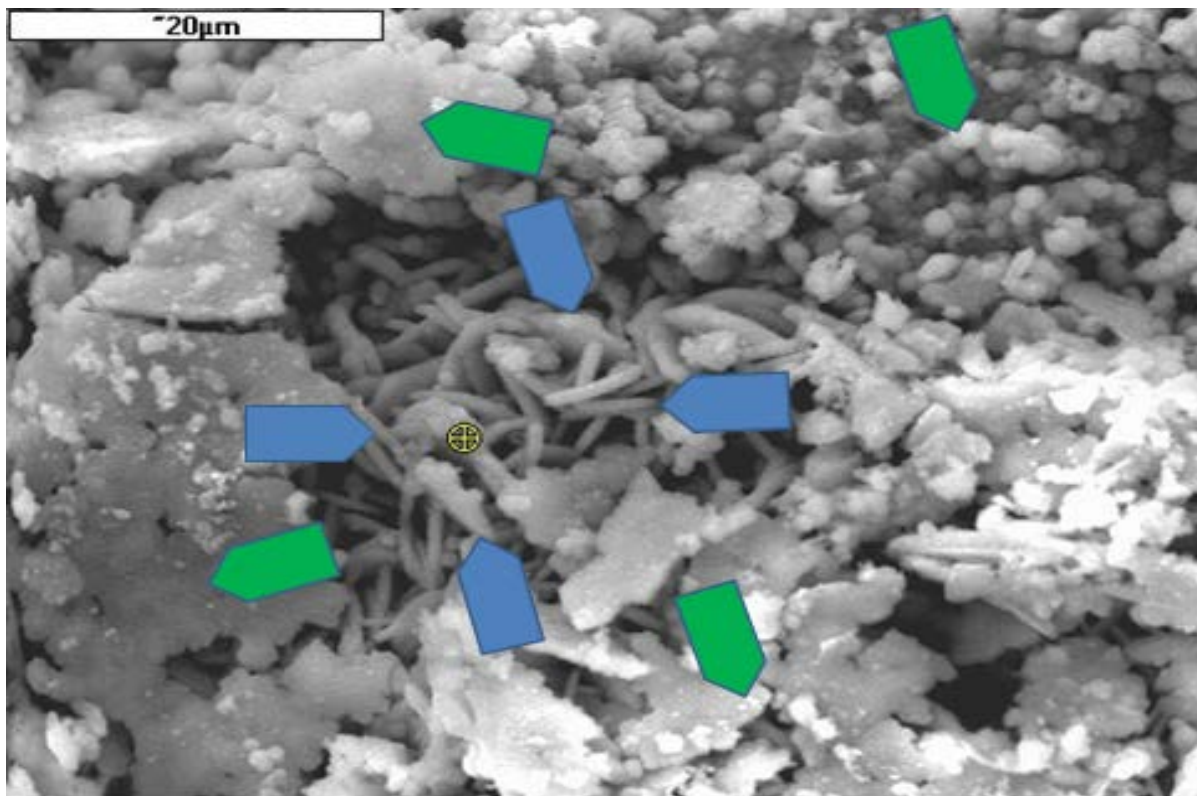
Inny efekt zniszczenia powierzchni panewki jest widoczny w mikroskopie skaningowym jako starcia jej powierzchni. W wyniku tego ścierania związanego z obciążaniem stawu i w konsekwencji zmianami struktury polimeru powstają charakterystyczne ślady zniszczeń (Fot. 10). Ich powstanie prowadzi także do odrywania się drobnych fragmentów polimeru od panewki i ich przedostawanie się do przestrzeni stawowej endoprotezy. Nie można wykluczyć także dalszej wędrowki tych mikroziarn polipropylenu.



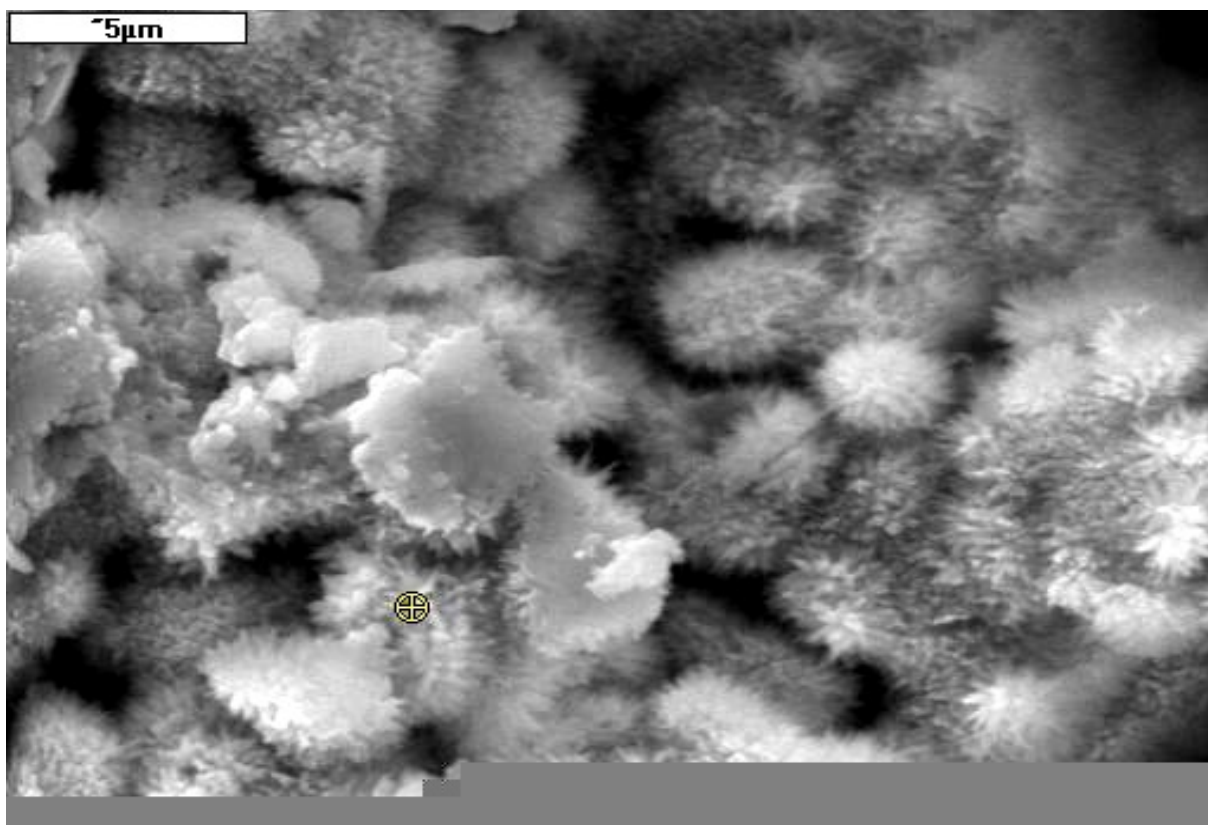
Fot. 10 Ślady ścierania powierzchni panewki endoprotezy będące skutkiem jej długotrwałego obciążania. SEM.

Szczególnym przypadkiem jest krystalizacja w przestrzeni stawowej endoprotezy i jej otoczeniu różnego rodzaju substancji takich jak szczawiany, węglany czy fosforany. Ich powstawanie wiąże się najczęściej z różnymi dysfunkcjami pozastawowymi (zaburzeniami pracy nerek i in.).

Krystalizujące w stawie panewki i jego otoczeniu minerały posiadają często znaczną twardość i pomimo tego, że ich kryształy są wielkości do 20-30 μm (Fot. 11, 12) w funkcjonującej endoprotezie mogą powodować spustoszenie. Działają bowiem jak ziarna piasku utrudniające lub często wręcz uniemożliwiające funkcjonowanie endoprotezy. Skutkiem może być także puchnięcie stawu i inne problemy.



Fot. 11 Szczawiany (strzałka niebieska) wśród węglanów (strzałki zielone)wykryształizowane na powierzchni panewki endoprotezy stawu biodrowego. SEM.



Fot. 12 Kryształki szczawianów wykrystalizowane w na „niepracującej” części panewki endoprotezy stawu biodrowego. SEM.

Badania metalowych głów endoprotez stawu biodrowego.

Badaniom poddano głowy wybranych endoprotez (Fot. 13), które wyjęto



Fot. 13 Oczyszczone , metalowe części endoprotez poddane badaniom, które usunięto pacjentom podczas wymiany endoprotezy .

Pacjentom podczas wymiany endoprotezy. Z główek tych endoprotez odcięto „pracujące” fragmenty, które poddawane były największym obciążeniom (Fot. 14).



Fot. 14. Fragmenty odciętych główek endoprotez. Fot. lewa – widok od strony endoprotezy. Fot. prawa - widok od strony stawu.

Badania wykazały, że użyte do produkcji endoprotez stale to stale żelazowo - chromowo-kobaltowa (główki 1, 2 od strony lewej) oraz żelazowo, chromowo- manganowa z domieszką niklu (głowa 3 - prawa). Ich analizy chemiczne wykonane metodą EDS pokazują fig. 1 i 2.

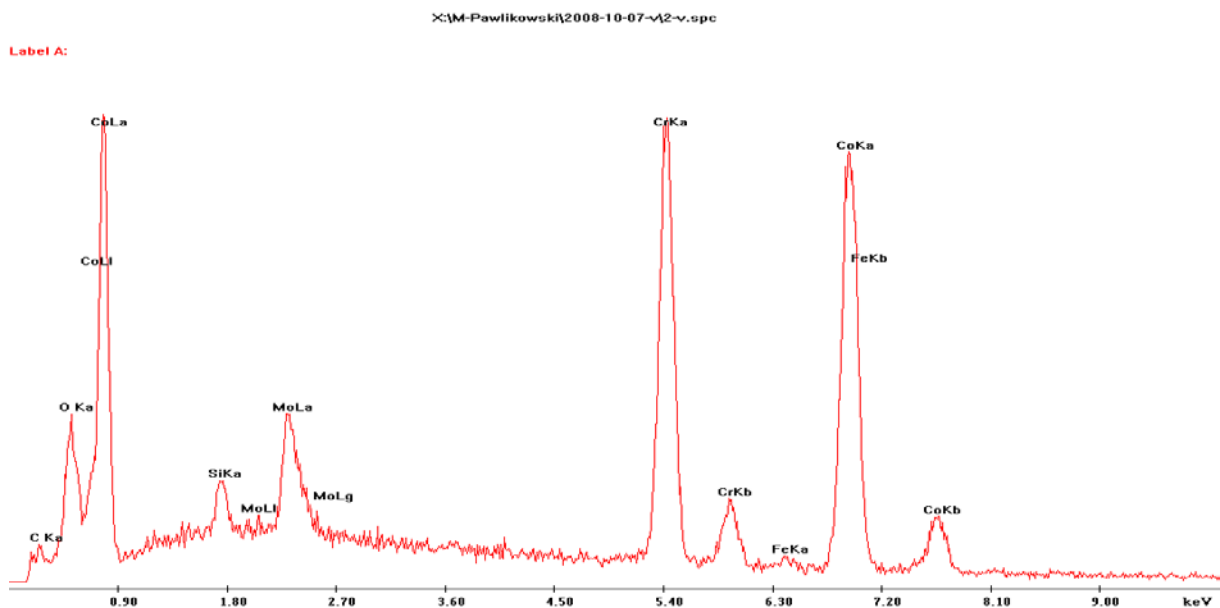


Fig. 1 Widmo energetyczne EDS stali z głowy 1 (Fot. 14)

Label A:

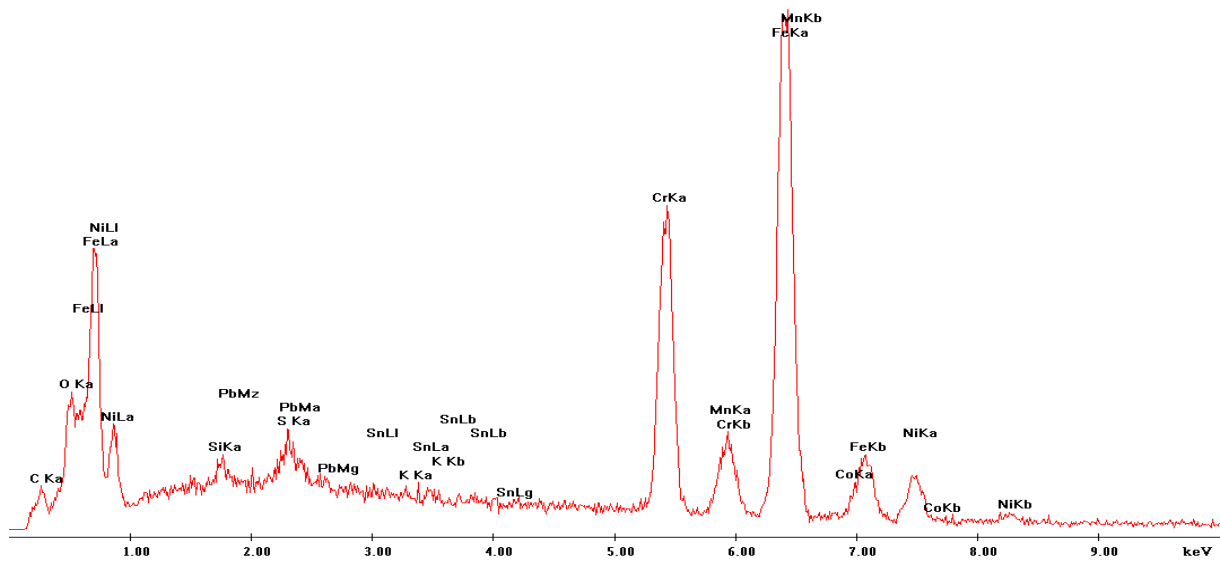
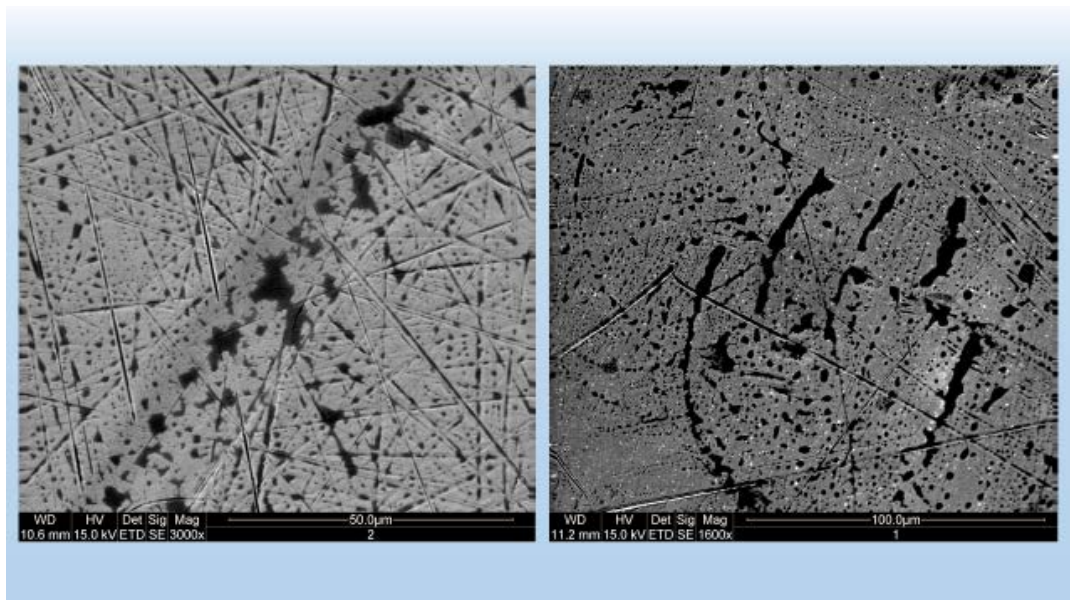


Fig. 2 Widmo energetyczne EDS stali z głowy3 (Fot. 14).

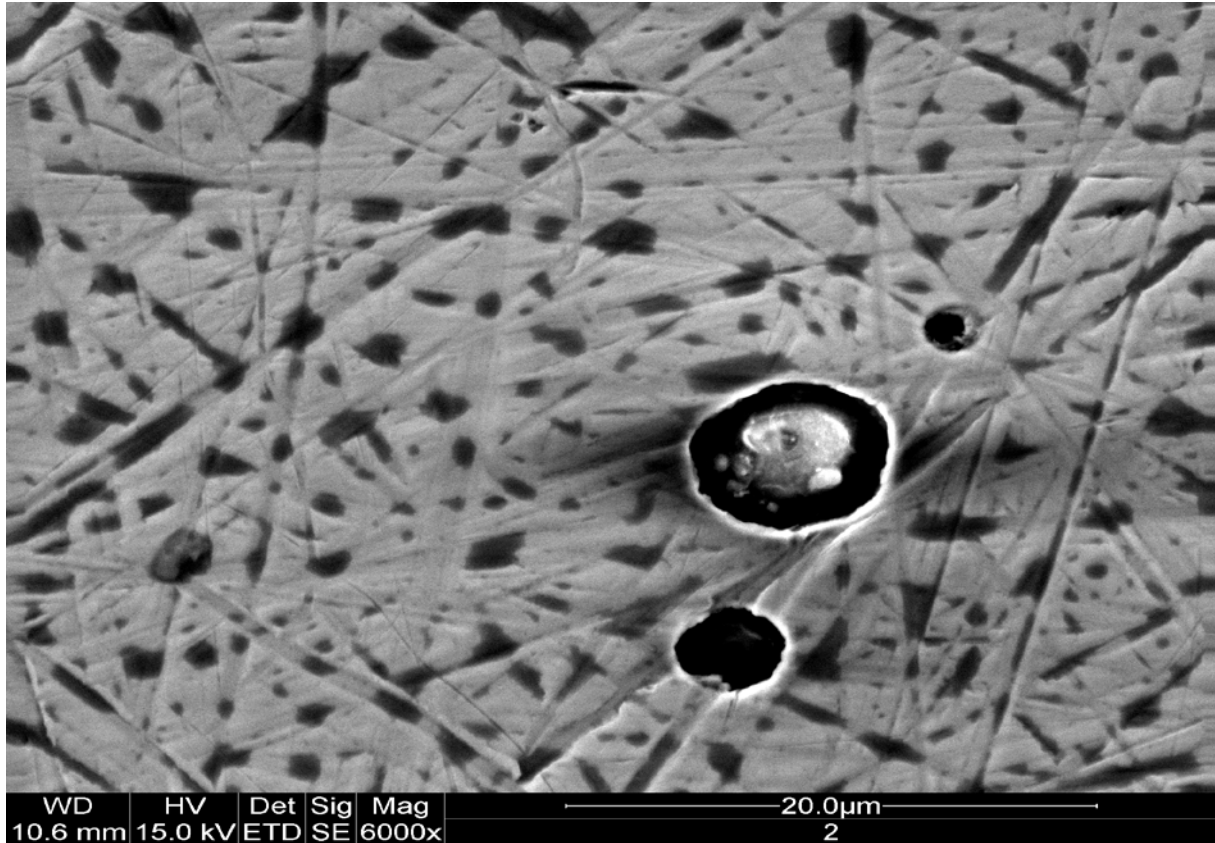
Badania wykazały, że badane stale z głów endoprotez nie tylko różnią się składem chemicznym lecz także różnią się strukturalnie. Pomimo lustrzanego blasku, wszystkie są drobnokrystaliczne i mają różną porowatość w tym różną konfigurację mikroporów (Fot. 15).



Fot. 15 Struktura i układy mikropustek w głowach endoprotez. Fot lewa – głowa endoprotezy nr 1 (Fot. 14) Fot. prawa - głowa endoprotezy nr 3 (Fot. 14) SEM.

Wpływa to pracę stawu endoprotezy w tym na erozje plastikowej powierzchni panewki, bowiem krawędzie pustek są niezwykle ostre i pod obciążeniem mogą ciąć powierzchnię panewki.

Podczas obserwacji powierzchni głów endoprotez, które prowadzono



Fot. 16. Żużelek i dziura po wyrwanym żużelku w drobnokrystalicznej stali chromowo-niklowej głowy endoprotezy.

przy pomocy mikroskopu skaningowego natrafiono na drobne żużelki krzemianowe i glinokrzemianowe (Fot. 15, Fig. 3). W przypadku gdy zostaną wyrwane ze stali podczas funkcjonowania endoprotezy i dostaną się do przestrzeni stawowej powodują znaczne zniszczenia. Obserwuje się je zwłaszcza powierzchnie miękkiej, plastikowej panewki. Jednak ze względu na znaczną twardość także niszczą powierzchnię stalowej głowy.

Powstające w ten sposób nacięcia powierzchni głowy (Fot. 17) działają jak ostry nóż i podczas ruchu stawu niszczą panewkę powodując powstawanie drobnych fragmentów. Te z kolei mogą dostawać się do układu krwionośnego sprzyjając przytykaniu się naczyń czego skutkiem może być puchnięcie okolicy stawu i powstawanie w nim płynu.

Label A:

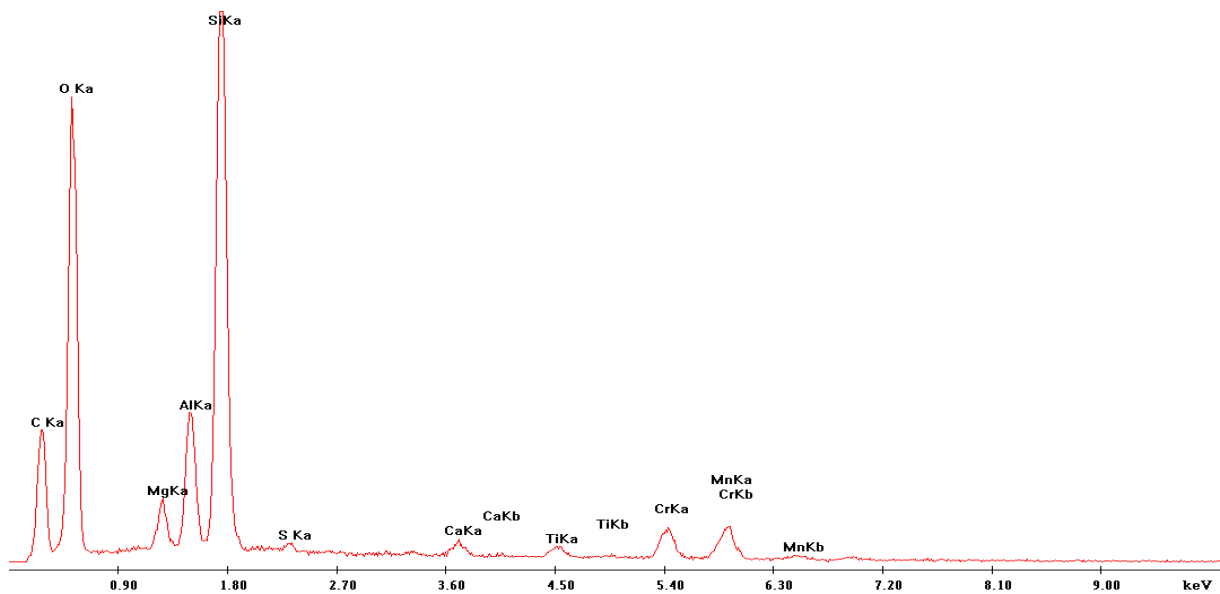
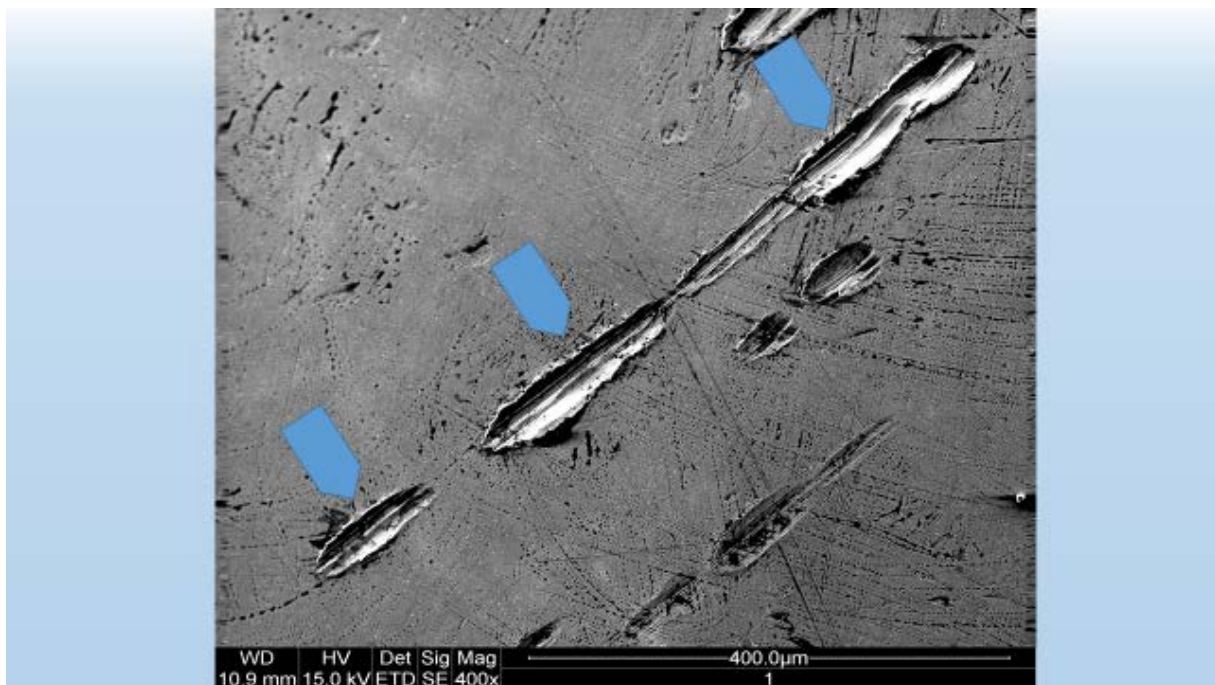


Fig. 3 Widmo energetyczne EDS krzemianowego żużelka ze stali z głowy endoprotezy pokazanej na fot. 16.

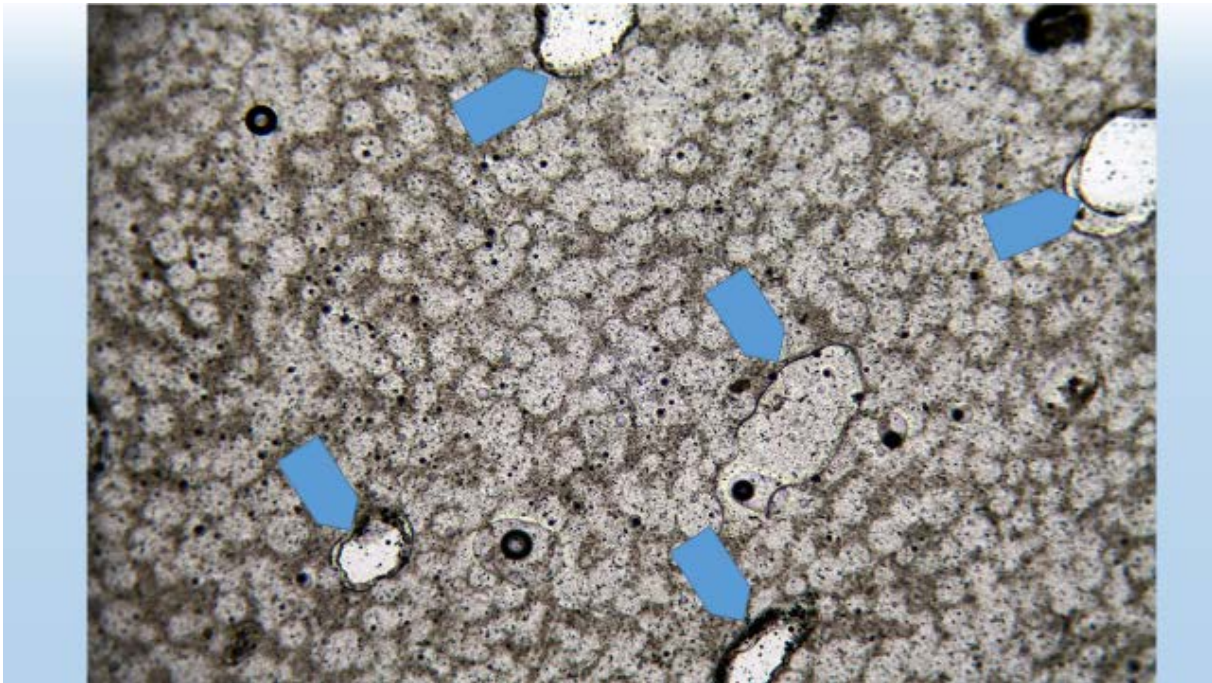


Fot. 17 Zniszczenia powierzchni stalowej głowy endoprotezy przez wyrwane ze stali ziarno żużelka. SEM.

Cementy

Oprócz szybkości wiązania cementu i powstające w tym procesie temperatury ważna jest jego jednorodność. O jednorodności cementu decyduje zarówno dokładność zmieszania składników w przypadku cementów dwuskładnikowych) jak też homogeniczność zmieszanego cementu.

W przypadku szybkiego mieszania składników cementu do mieszaniny dostaje się powietrze w postaci drobnych bąbelków, które w czasie jego wiązania mogą zostać zamknięte w masie cementowej (Fot 19). Im więcej bąbelków w cemencie tym słabsze wiązanie endoprotezy z kością. Im słabsze wiązanie endoprotezy z kością tym większa szansa na jej rozchwierutanie w trakcie funkcjonowania.



Fot. 19 Mikroskopowy obraz cementu z bąbelkami powietrza (strzałki).

Wydaje się korzystnym mieszanie składników cementów fiksujących endoprotezę w pojemniku z odpompowanym powietrzem.

Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki badań ujawniają szczegóły związane ze stabilnością endoprotez w tym kwestie jakości stosowanych materiałów i ich modyfikacje jako efekt funkcjonowania endoprotez. Opisane zjawiska powinny stać się obiektem zainteresowania nie tylko ortopedów lecz zwłaszcza producentów endoprotez.

Literatura

1. Bieniek A., Niedźwiedzki T., Pawlikowski M., 2011 Badania mineralogiczne zjawisk osteoporozy głów kości udowej, a rentgenowskie badania densytometryczne (Mineralogical investigation of osteoporosis phenomenon – relation to densometric examination). Ortopedia, Traumatologia Rehabilitacja. Cong. of Polish Osteoarthritis Society and Polish Foundation of Osteoporosis. Kraków 29.09-1.10. pp. 150-151.
2. Kita B., Pawlikowski M., 1983 Badania mineralogiczno-chemiczne kości udowej człowieka w aspekcie procesu starzenia. (Mineralogical-chemical investigation of tibia in the aspect of ageing). Chirur. Narządów Ruchu i Ortop. Pol. T. XLIII, pp. 87-91.
3. Lipnicka P., Pawlikowski M., Pfitzner R., 2003 Znaczenie rozpuszczania syntetycznego hydroksyapatytu w badaniach nad destrukcją złogów miażdżycowych. (An importance of examination of dissolution of hydroxyapatite – relations to mineralization of human arteries). Folia Med. Crac. v XLIV, 1-2, pp. 187-200.
4. Niedźwiedzki T., Pawlikowski M., 1987 Zmiany w mineralnej części kości w pobliżu stawów rzekomych. (Mineralogical changes at the region of ostites). Chirurgia Narz. Ruchu i Ortop. Pol. T. LII, z. 2, pp. 100-107.
5. Niedźwiedzki T., Dąbrowski Z., Miszta H., Pawlikowski M., 1993 Bone healing after bone marrow stromal cell transplantation to the bone defect. Biomaterials, v. 14, no.2, pp. 115-121.
6. Niedźwiedzki T., Pawlikowski M., Brudnicki J., Palka E., 1995 Zmiany mineralogiczne zachodzące w stawach kręgosłupa w czasie starzenia się (Mineralogical alterations observed at vertebral column – relations to ageing). Chir. Narządów Ruchu i Ortop. Pol. LX, supl. 1, pp. 163-167.
7. Pawlikowski M., 1987 Mineralizacja organizmu człowieka żyjącego. (Mineralization of human living organism). Prace Mineral. 79, 121 p.
8. Pawlikowski M., 1991 Gospodarka Ca i P w organizmie człowieka. (Distribution of Ca and P in human organism) In: A. Szymański Biomineralogia i biomateriały. PWN Warszawa, pp. 61-66.
9. Pawlikowski M., 1993 Kryształy w organizmie człowieka. (Crystals of human organism). Secesja. (Atlas), 132 p.

10. Pawlikowski M., 1994 Mineralizacja tkanek organizmu człowieka jako efekt starzenia. (Mineralization of human tissues as effect of ageing). Prace Spec. PTMin. Z. 5, p. 196.
11. Pawlikowski M., 1995 Sekrety mineralizacji tkanek. (Secrets of tissues mineralization). Wyd. IGSMiE PAN Kraków, 97 p.
12. Pawlikowski M., 1999 Preliminary results of dissolution of substances mineralizing human arteries. Arch. Mineralog. T.LII, pp. 195-210.
13. Pawlikowski M., 2003 Minerals in human blood vessels and their dissolution in vitro, In: Skinner H.C.W., Berger A. W., Geology and health. N.Y. – Oxford. Oxford Univ. Press, pp. 155-158.
14. Pawlikowski M., 2004 Mineralogy and chemistry of osteoporosis - mechanism of mineralization (calcification) of human tissues. Prec. Goldschmidt Conf. Kopenhaga 2004, p. A531.
15. Pawlikowski M., 2011 Osteoporoza jako źródło mineralizacji tkanek. (Osteoporosis as source of elements mineralizing tissues). Materiały Konf. Mechanizmy służące utrzymaniu życia i regulacji fizjologicznych. Kraków, pp.79-83.
16. Pawlikowski M. 2014 Osteoporosis as A Source of Tissue Mineralization
17. Research on Osteoporosis Therapy and Dissolution of Arterial Mineralization. Jour.. Life Science Vol. 8, No. 7, pp. 610-625.
18. Pawlikowski M., 2016 Biomineralogy of osteoporosis. Acad. J. Biotech. 4(4): 138-144,
19. Pawlikowski M., 2017 Centers of Human Tissue Biomineralization (Calcification). Cardiol Cardiovascmed , 1 (6): 252-261.
20. Pawlikowski M., (in print) The phenomenon of joint cartilage biomineralization. Open Journal of Surgery.
21. Pawlikowski M., Pfitzner R., 1995a Zastosowanie metod mineralogicznych w badaniach tkanek człowieka. I. Sposoby badania mineralizacji. (Mineralogical methods useful for examination of human tissues). Przegl. Lekarski 52, 4, pp. 119-123.
22. Pawlikowski M., Pfitzner R., 1995b Zastosowanie metod mineralogicznych w badaniach tkanek człowieka. II. Mineralizacja struktur serca. (Mineralogical methods useful for examination of human tissues. Mineralization of heart structures). Przegl. Lekarski 52, 4, pp. 24-

27.

23. Pawlikowski M., Pfitzner R., 1999 Mineralizacja serca i dużych naczyń. (Mineralization of hearth and big blood vessels). Wyd. IGSMiE PAN Kraków, 142 p.
24. Pawlikowski M., Niedźwiedzki T., 2002 Mineralogia kości. (Mineralogy of bones). Wyd. PAN Oddział w Krakowie, 128p.
25. Pawlikowski M., Niedźwiedzki T., Bieniek A., Niedźwiedzki Ł, Olejarsz A., 2015 Badania mineralogiczne głów i chrząstki stawowej kości udowej u chorych z jałową martwicą (AVN). (Mineralogical testing of femur heads and joint cartilage of patients with avascular necrosis (AVN) , Auxiliary sciences in archaeology, preservation of relicts and environmental engineering. CD -no 20, Ed. M Pawlikowski.
26. Zawistowski S., 1965 Technika histologiczna oraz podstawy histopatologii. PZWL. Warszawa.