

BIOMINERALOGY OF EGYPTIAN MUMMIES TOOTH

Biom mineralogia zębów mumii egipskich.

Maciej Pawlikowski*

*/ AGH- Univ. of Science and Technology, Dept. Mineralogy, Petrography and
Geochemistry, 30-059 Cracow, al. Mickiewicza 30. Poland .
e-mail: mpawlik@agh.edu.pl

Abstract

In the literature so far, there has been little information on mineralogical studies of teeth from old cemeteries, such as the tombs of Egyptian mummies. This publication adds to the knowledge in the field of mineralogical studies regarding vital and posthumous changes in the teeth of the people of Old and New Kingdom of Egypt. It shows the phenomena occurring in historical teeth, which are similar to those occurring in modern times. The research was conducted on approximately a dozen teeth, and the publication presents only selected, particularly interesting phenomena.

Key words: Egypt, mummies, teeth, biom mineralogy

Streszczenie

W dotychczasowej literaturze niewiele jest wiadomości dotyczących mineralogicznych badań zębów pochodzących ze starych cmentarzysk takich jak np. groby mumii egipskich. Prezentowana publikacja uzupełnia w zakresie badań mineralogicznych wiedzę dotyczącą przyżyciowych i pośmiertnych zmian w zębach ludzi Starego i Nowego Państwa Egipskiego. Ukazuje ona zjawiska zachodzące w historycznych zębach, które są zbliżone do zjawisk współczesnych . Wykonano ją na kilkunastu zębach, prezentując w publikacji jedynie wybrane, szczególnie ciekawe zjawiska.

Słowa kluczowe: Egipt, mumie, zęby, biom mineralogia

Wprowadzenie

Badania miały na celu rozpoznanie zjawisk zachodzących zarówno przyżyciowo jak i *post mortem* w zębach mumii. Wykonano je na kilku zębach pochodzących z różnych stanowisk archeologicznych odkrytych w Egipcie.

Literatura dotycząca tego problemu jest skromna na tle literatury dotyczącej mumii, mumifikacji, a zwłaszcza religijnych przekonań Egipcjan związanych z życiem pośmiertnym.

Badania zębów pochodzących ze stanowisk archeologicznych mają bogatą i wieloaspektową literaturę. Dotycza one zarówno patologii (Ayrton, Lorat 1911, Melanby 1827, Garland 1987, Boherens et al. 1990, Chiariadia et al. 2003)), zależności między dietą a składem mineralnym kości i zębów (Hancock et al. 1989), zawartości pierwiastków śladowych (Trueman, Tuross 2002). Wielu badaczy koncentruje się na rozwoju i strukturze ubytków zębowych (Ames, Schour 1955, Bell 1990, Bout 2001,). Zainteresowania badaczy wiążą się także ze zmianami struktur zębów ich składu mineralnego, chemicznego i izotopowego. (Longinelli 1983, Ergenholtz 1991, Rink, Schwartz 1985, Simmer, Finchman 1995, Hornono et al. 1996, Kohn et al. 1996, Kohn et al. 1999, Gutierrez – Salazar, Rejes – Gasga 2003, Muray et al. 2003, Dupin, Williams 2004, Wopenka, Pasteris 2005, Wychowański et al. 2005).

Publikacje te dowodzą wieloaspektowości i istotności badań nie tylko współczesnych zębów lecz także pochodzących z poprzednich historycznych i geologicznych okresów.

Materiał i metody badań

Materiał do badań stanowiły pojedyncze próbki zębów ze starej kolekcji Muzeum Archeologicznego w Krakowie przekazane do badań przez prof. dr hab. Annę Szymańską za co autor składa podziękowania. Do szczegółowych badań wyselekcjonowano z kolekcji te zęby w których stwierdzono różnego rodzaju zmiany.

Badania oprócz obserwacji przy prowadzonych pomocy lupy binokularnej koncentrowano na badaniach szlifów, które prowadzono w spolaryzowanym świetle przechodzącym (Mikroskop produkcji chińskiej marki Motic) oraz na badaniach z użyciem mikroskopu skaningowego FEI QUANTA 200 FEG zespolonego z urządzeniem do analiz chemicznych metodą EDS. Badania realizowano w trybie „low vacuum”.

Badania fazowe wykonano metoda dyfraktometrii rentgenowskiej stosując

dyfraktometr DRON 2,5 produkcji rosyjskiej. Interpretacje dyfraktogramów wykonano z użyciem programu komputerowego XRAjan.

Wyniki badań

Przyżyciowe zmiany w zębach

Ubytki

Stare Państwo. Kobieta 20l

Badania kilku zębów z tego okresu wskazują, że nawet młodzi ludzie mieli niezadbane zęby i u 20. Latków rozpoznano w zębach ubytki (Fot. 1). Podobnie jak w naszych czasach ilość i wielkość ubytków w zębach wzrastała z wiekiem człowieka. A osoby starsze były często niemal zupełnie pozbawione uzębienia.



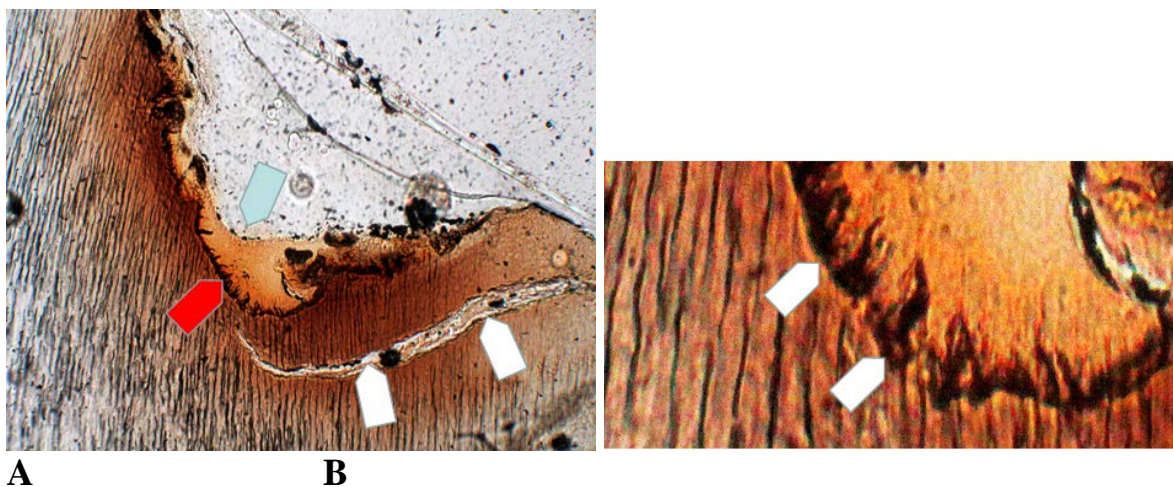
Fot. 1 Ząb objęty badaniami (fotografia w dwóch ujęciach). Strzałka pokazuje miejsce ubytku w zębie.

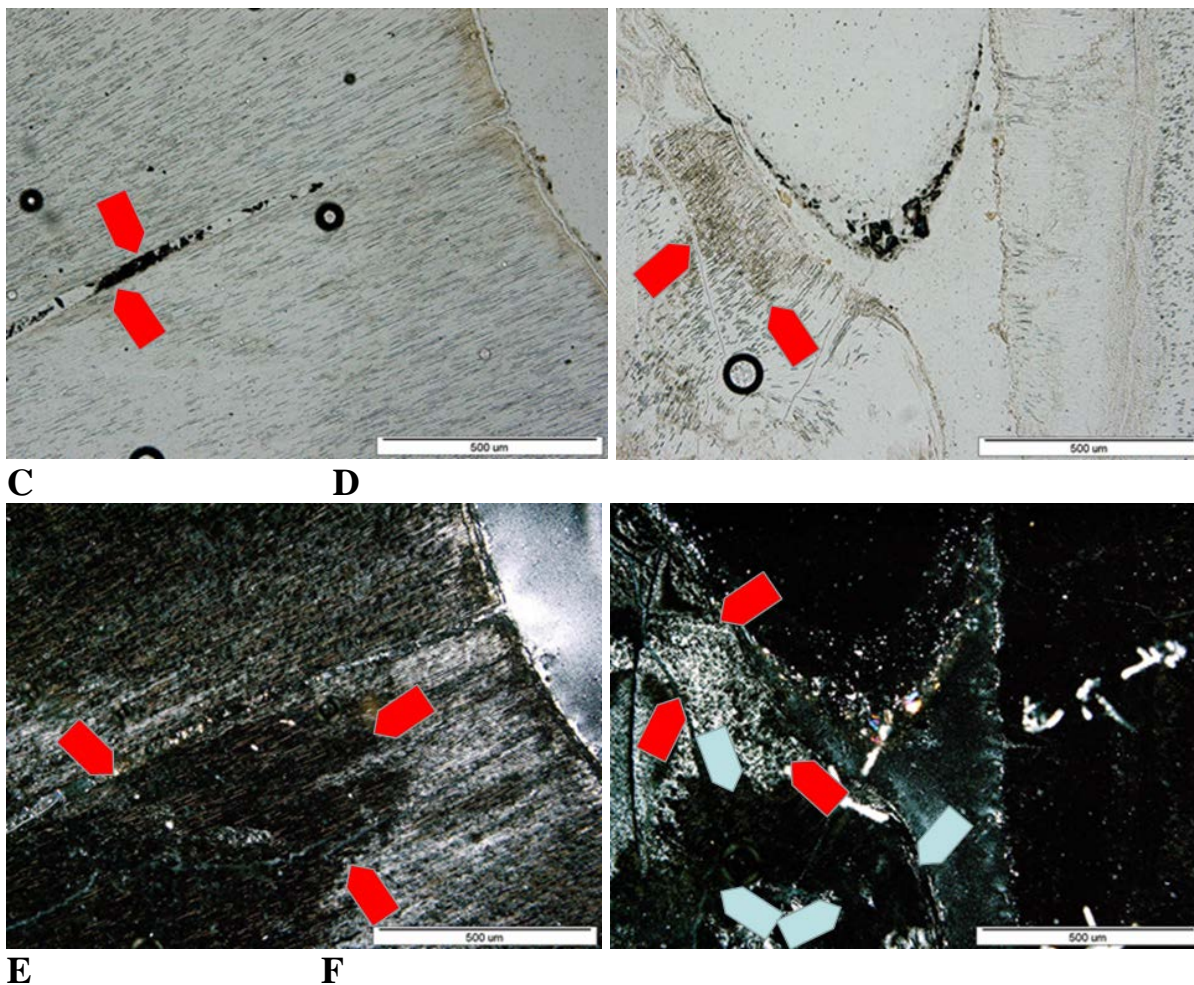
Badania mikroskopowe w świetle spolaryzowanym

Interesujące obrazy uzyskano w szlifach mikroskopowych zębów. Zmiany w ubytkach rozwijały się aż do zębiny powodując niekiedy jej wtórne zabarwienie substancją znajdującą się w ubytku (Fot. 2 A, B). Jej badania wskazują, że ubytek wypełniony jest minerałami ilastymi. Trudno jednak powiedzieć, czy jest to zrobione intencyjnie czy do wypełnienia doszło w sposób naturalny już po pochówku. Obecność tych minerałów jedynie w ubytku może sugerować, że było to wypełnienie intencyjne.

Obok klasycznych ubytków rozpoznano w zębach wtórna mineralizację nieprzeźroczystą substancją w obrębie zębiny (Fot. 2 C). W wielu zębach obserwowano mikroskopowo zjawiska reorganizacji struktury zębów manifestujące się zarówno zmianą barwy zębiny (Fot. 2 D) jak i zmianą orientacji optycznej struktur zębiny. Zjawisko to manifestuje się zmianą kierunku wygaszania światła spolaryzowanego w partiach objętych zmianami (Fot 2 E).

W obszarach objętych zmianami związanymi z rozwojem ubytków obserwuje się drobne ziarna minerałów wtórnych o cechach mikroskopowych i wysokich barwach interferencyjnych charakterystycznych dla węglanów (Fot. 2 F). By potwierdzić te obserwacje z jednego z ubytków pobrano śladowe ilości materiału do rentgenowskiej analizy fazowej. Uzyskany dyfraktogram (Fig. 1) potwierdził, że obok głównego składnika apatytu w ubytku występuje kalcyt (CaCO_3). Jest to o tyle interesujące, że apatyt zębowy i kalcyt krystalizują w różnych układach krystalograficznych. Przebudowa apatytu w kalcyt po apatytowy wiąże się nie tylko z wyprowadzeniem ze struktury zębiny fosforu lecz także ze zmianami objętościowymi w zębinie. Wtórny kalcyt po apatytowy zajmuje w ubytku zębowym inną objętość niż pierwotny apatyt. To z kolei powoduje osłabienie struktury w tym wypadku zębiny.





E **F**

Fot. 2 Fotografie mikroskopowe zęba. A – mikrofotografia szlifu mikroskopowego wykonanego w miejscu ubytku (strzałka czerwona) pokazanego na fot. 1. Widoczne pęknięcie w obrębie zębiny (strzałki białe). W ubytku zachowane niewielkie ilości minerałów ilastych (pomarańczowe) zawierających żelazo (Fe^{3+}) barwiące rejon ubytku na brunatno. B – powiększenie dolnej części ubytku z widocznymi ciemnymi skupieniami substancji organicznej (strzałki). A-B: mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X. C – rozwarstwienia w zębinie wzdłuż kanalików odżywczych wypełnione wtórnymi ciemnymi minerałami (strzałki). D – zębina z drobnymi skupieniami ciemnej substancji organicznej. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X. E - strefa zamian strukturalnych w obrębie zębiny manifestująca się mikroskopowo skręceniem wiązki światła spolaryzowanego. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X. F - wydzielania minerałów wtórnych na granicy szkliwo – zębina (strzałki niebieskie) oraz zmiany w obrębie zębiny (mineralne) widoczne jako skręcenie światła spolaryzowanego. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X.

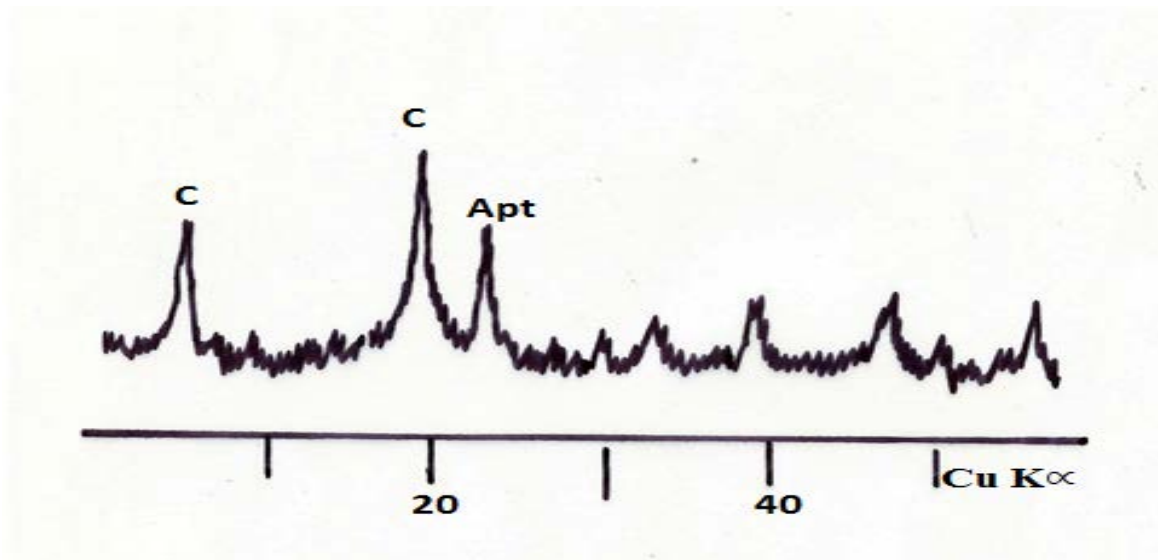
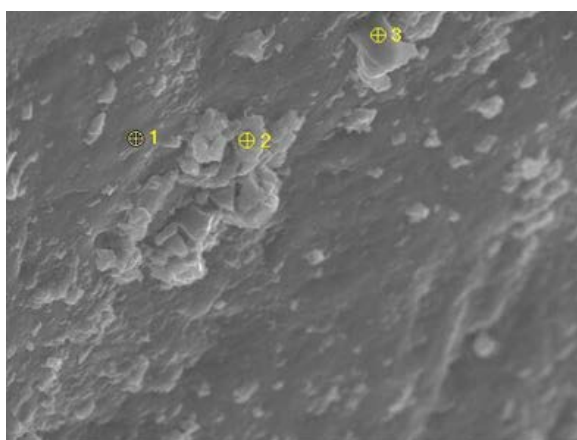


Fig. 1 Dyfraktogram rentgenowski substancji znajdującej się w ubytku zęba (patrz Fot. 2 A), C – kalcyt, Apt – apatyt.

Interesujące i ujawniające wiele szczegółów okazały się także badania wybranych zębów metodą SEM-EDS. Okazało się, że powierzchnia szkliva (Fot. 3 A) która buduje głównie apatyt (Fot, 2 B) jest piokryta miejscami drobnymi ziarnami i kwarcu (Fot. 2 C), z których bez wątpienia część pochodzi z otoczenia grobu, ale część posiadająca kształty zbliżone do idiomorficznych może być związana, z trudnymi do opisanie na tym etapie procesami wtórnymi.

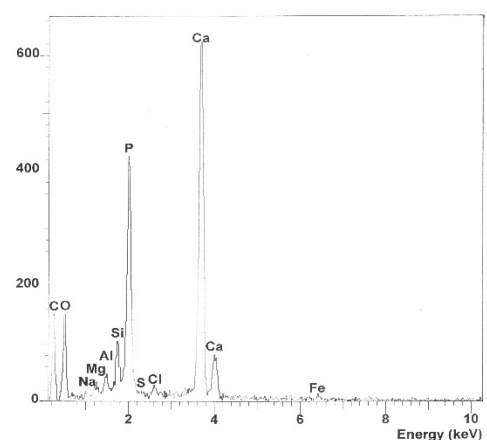
Stwierdzono także, że szklivo nawet w obrębie jednego zęba różni się proporcją Ca/P bez widocznych procesów destrukcji. Zjawisko to jest trudne do wytłumaczenia na tym etapie badań

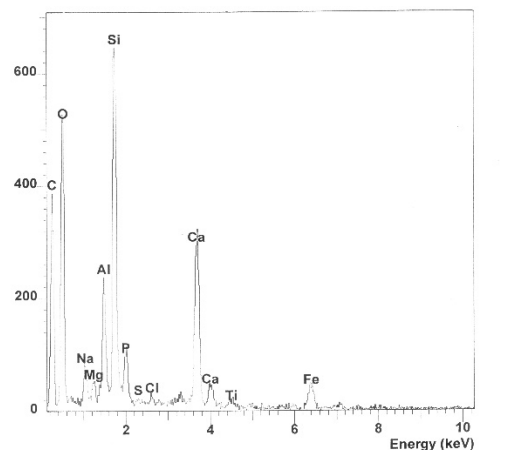
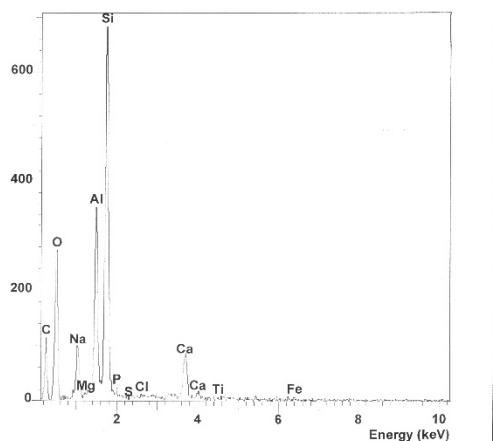
Badania SEM - EDS



A

B



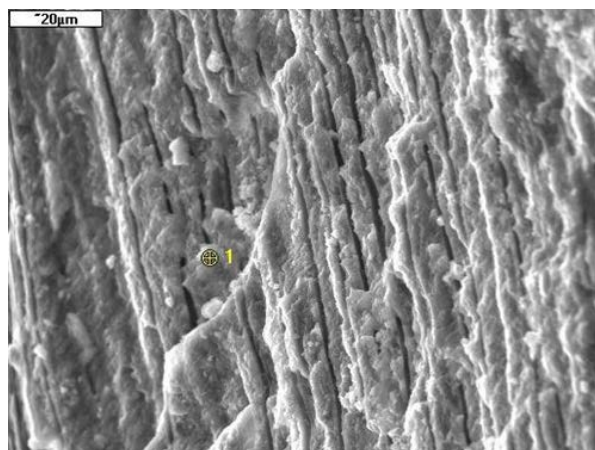


C

D

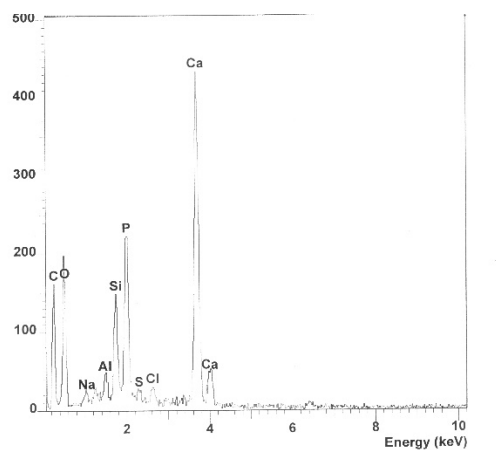
Fot. 3 A - Mikroskopowy obraz szkliva. B, C, D – analizy chemiczne powierzchni szkliva. EDS).

Interesujące są także zjawiska biomineralogiczne obserwowane w obrębie zębiny (Fot. 4 A). Dotyczą one nie tylko zmian w obrębie jej struktury lecz także wypełnienia kanalików głównie przez węglany, krzemionkę jak też przez śladowe ilości sodu i chloru (Fot. 4 B). W tym ostatnim przypadku obecność NaCl (halit) jest najprawdopodobniej związana z procesem mumifikacji w której oprócz innych składników takich jak np. natron czy żywice używano także soli kamiennej.



A

B



Fot. 4 A - Mikroskopowy obraz zębiny. SEM. B – widmo EDS zębiny w punkcie pokazanym na fot A.

Do badań porównawczych i w celu prześledzenia zjawiska destrukcji zębów przeznaczono także zęby z mumii okresu Nowego Państwa. Tu zaprezentowano wybrane wyniki badań zębów 40. letniego mężczyzny (Fot. 5).

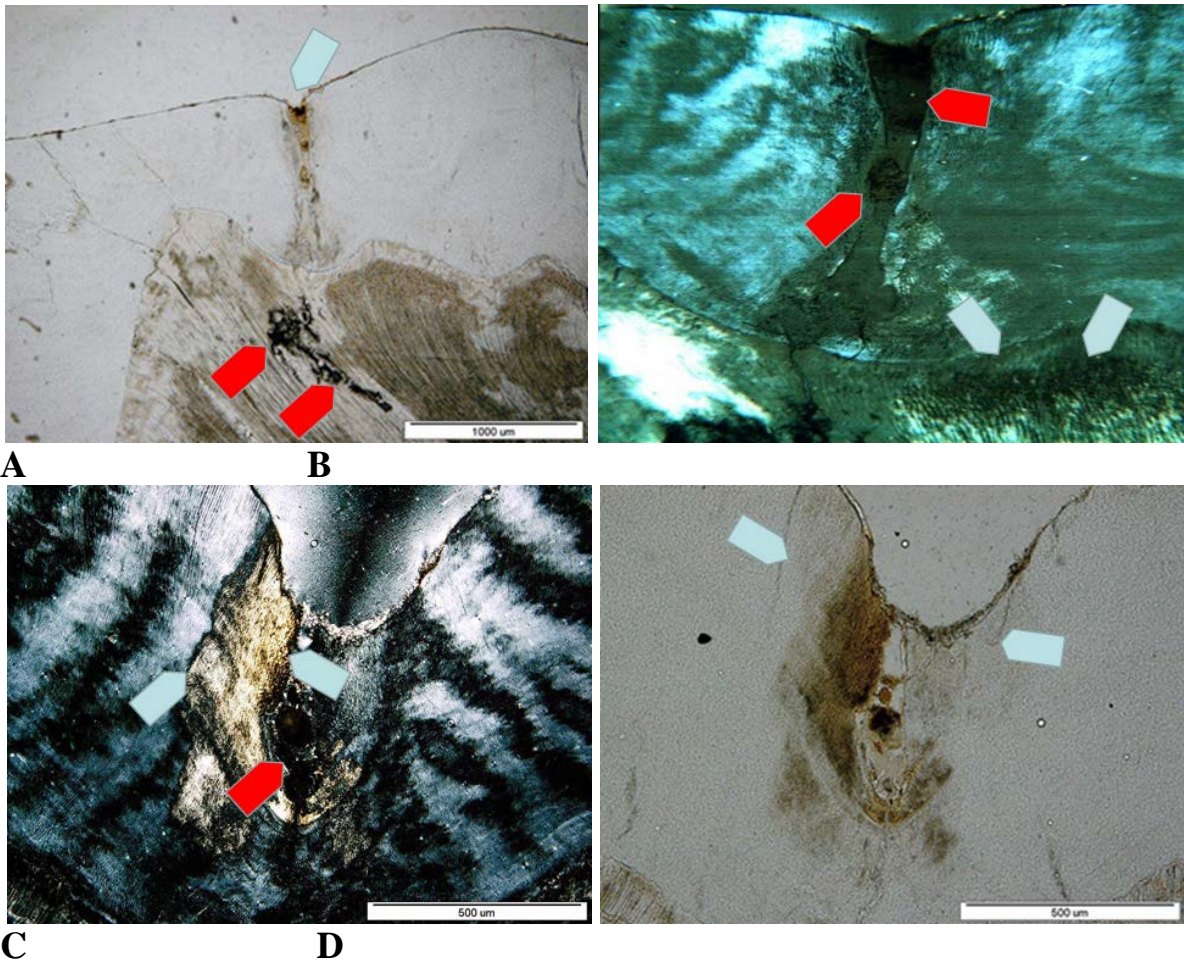


Fot. 5 Fragment kości i ząb przeznaczony do badań. Strzałki pokazują miejsca zniszczenia zęba.

Wykonane badania wskazują, że procesy przyżyciowego niszczenia zębów mają istotny wpływ na wtórne zjawiska niszczenia zębów – już po ustaniu procesów życiowych.

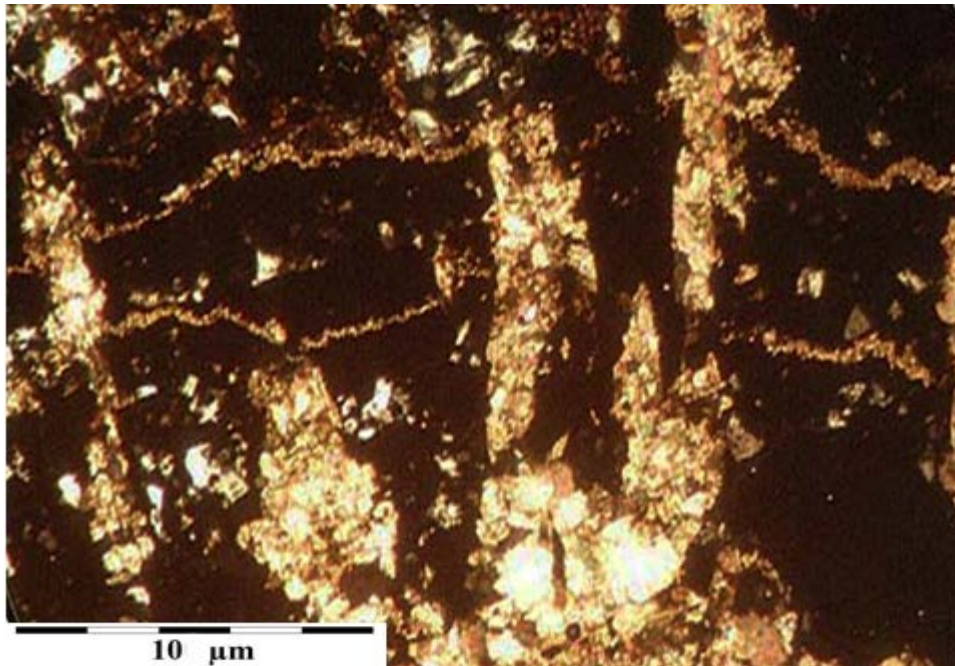
Oprócz klasycznych ubytków w zębach z okresu Nowego Państwa rozpoznano strukturalne procesy destrukcji szkliwa związane z jego pękaniem. Większość zjawisk destrukcji po pochówku związana jest ze stopniem przyżyciowego zniszczenia zębów.

Przyżyciowe pęknięcie szkliwa prowadzi do tworzenia się szczelin którymi aż do zębiny wnikają substancje wtórne (Fot. 6 A, B). Bez względu na to czy są to substancje, które dostały się do pęknięcia zęba przyżyciowo czy pośmiertnie reagują ze szkliwem jak i zębina zarówno chemicznie i mechanicznie. Chemicznie –sprzyjają rozpuszczaniu hydroksyapatytu, głównego budulca zębów, który jest trwały przy $\text{pH} > 6,6$ zaś w środowisku kwaśnym powoli się rozpuszcza. Z kolei krystalizacja substancji mineralnych w pęknięciu prowadzi do zwiększania ich objętości. Siły krystalizacji np. wtórnych węglanów (Fot. 6 C) są tak silne, że powodują destrukcje struktur zęba. Niekiedy są to zmiany bardzo subtelne i trudne do rozpoznania. W obserwacjach mikroskopowych manifestują się zmiany barwy zębiny w pobliżu zniszczonej części zęba (Fot. 6 D).



Fot. 6 A – mikroskopowy obraz bocznego pęknięcia szkliwa w koronie zęba (strzałka niebieska). Widoczna głęboka zmiana w obrębie zębiny pod miejscem pęknięcia (strzałka czerwona). Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X. B – mikroskopowy obraz tego samego pęknięcia w innym miejscu. Widoczne wtórne minerały nieprzeźroczyste wypełniające pęknięcie (strzałki czerwone) oraz zmiany w zębinie pod pęknięciem (strzałki niebieskie). Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X. C – mikroskopowy obraz ubytku w szkliwie zęba (korona – strzałka czerwona) z wtórnie wykształconymi węglanami pofosforanowymi (żółta koncentracja – strzałki niebieskie). Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X. D – to samo miejsce (Fot. 6, C). widziane w normalnym świetle. Widoczne strefy w obrębie szkliwa objęte zmianami (strzałki niebieskie). Mikroskop polaryzacyjny, 1 polaroid.

Na niektórych zębach zarówno z okresu Starego jak i Nowego Państwa rozpoznano śladowe ilości kamienia nazębnego. W kamieniach składniki mineralne, fosforany, szczawiany i prawdopodobnie węglany zmieszane są z mocno zmienioną i utlenioną substancją organiczną wykazującą pod mikroskopem barwę ciemnobrązową (Fot. 7). Oznacza to, że w czasach faraonów, podobnie jak współcześnie znana już była to dolegliwość.



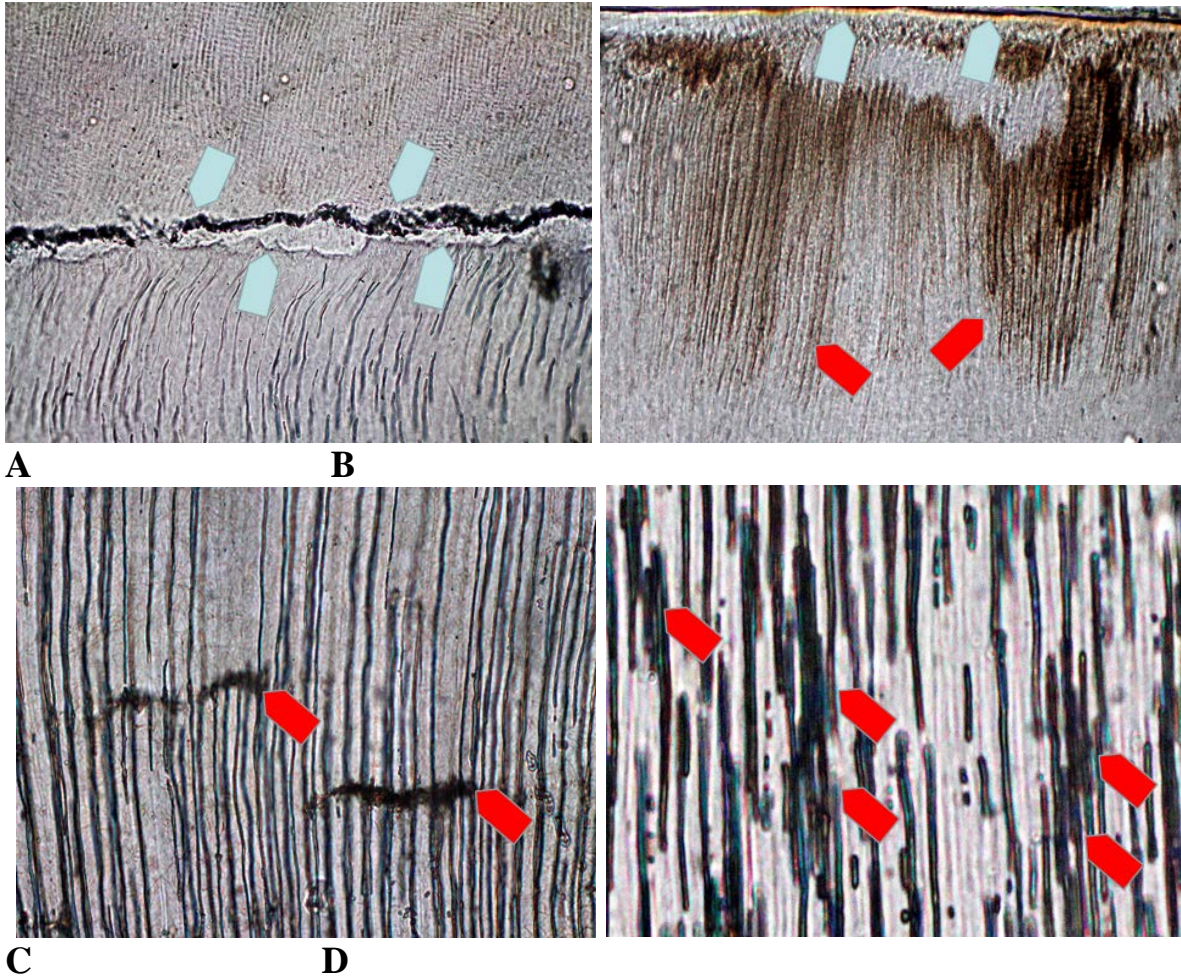
Fot. 7 Nazębny kamień szczawianowy- fosforanowy- z zęba M (/?) około 50 l. Jasne miejsca szczawiany z fosforanami. Miejsca ciemne – głównie zmieniona substancja organiczna. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X.

Wtórne zmiany w zębach związane procesami niszczenia, po ustaniu procesów życiowych.

Zmiany strukturalne

Obserwowano je jako różnego rodzaju destrukcje struktury zębów. Jednym z najczęstszych przypadków jest odspajanie się szkliwa od zębiny prowadzące w konsekwencji do destrukcji zęba. Szczelina tworząca się na kontakcie szkliwo-zębina może być pusta lub wypełniona substancjami wtórnymi(Fot. 8 A). Innym obserwowanym zjawiskiem są zmiany w zębinie obserwowane mikroskopowo jako brunatne wybarwienia (Fot. 8 B), które są związane z wnikaniem do kanalików zębiny trudnej do identyfikacji substancji organicznej (być może związanej z mumifikacją?). Inne deformacje to trudne do genetycznego wyjaśnienia pęknięcia w zębinie ułożone niemal prostopadle do kanalików (Fot. 8 C). Interesujące są także subtelne zmiany w obrębie kanalików zębiny, a właściwie w samej zębinie między kanalikami. Obserwuje

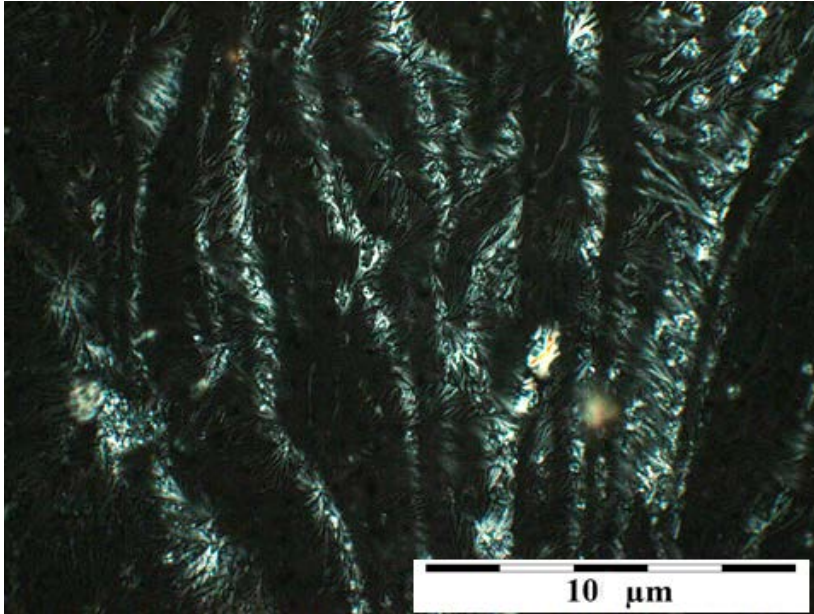
się je jako specyficzne zmiany barw interferencyjnych (Fot. 8 D). Dowodzą one przeobrażeń strukturalnych w substancji kolagenowo -apatytowej budującej zębinę i mogą być związane z procesem utleniania się kolagenu. Jednak rozwiązanie tego problemu wymaga szerszych badań.



Fot. 8 A – odspojenie szkliwa od zębiny (strzałki) , B - zmiany w zębinie wybarwione na brązowo pod granicą szkliwo- zębina (strzałki). C – pęknięcia w zębinie wypełnione wtórnymi, nieprzeźroczystymi minerałami (strzałki). D – zmiany w strukturze kolagenowo- mineralnej strefie w pobliżu kanalików obserwowane jako zmiany barw światła spolaryzowanego. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X.

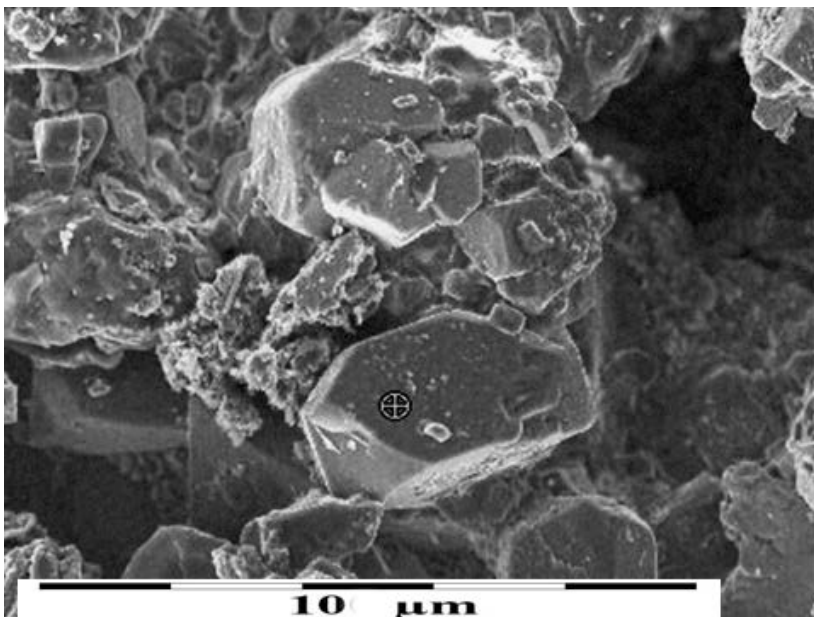
Rekrystalizacja zębów i krystalizacja substancji wtórnych w tym mumifikujących (soli) w zębach i na ich powierzchni.

Potwierdzeniem zmian w strukturze kolagenowo –apatytowej zębiny są mikroskopowo obserwowane w niektórych zębinach zjawiska modyfikacji struktur. Zjawisko widoczne jest w świetle spolaryzowanym przy dużych powiększeniach (Fot 9).



Fot. 9 Zjawisko rekrytalizacji masy apatytowo-kolagenowej zębiny widoczne w mikroskopie polaryzacyjnym jako charakterystyczna struktura o specyficznym sposobie wygaszania światła. Polaroidy X. Stare Państwo, M około 45 l.

Już wcześniejsze badania (chemiczne analizy metodą EDS) wykazały obecność w kanalikach zębiny sodu i chloru co sugeruje wniknięcie soli użytych do mumifikacji także do struktury zębiny. Badania SEM-EDS innego zęba kobiety z Nowego Państwa (Fot. 10), pozwoliły na rozpoznanie przy dużych powiększeniach mikrokryształków soli na powierzchni szkliwa w zagłębieniu jego górnej części.



Fot. 10 Kryształki halitu i natronu z powierzchni zęba. Nowe Państwo. Kobieta (wiek ?)

Podsumowanie

Obserwowane zmiany w strukturze badanych zębów wskazują, że są one wynikiem kilku nakładających się na siebie czynników. Są to czynniki przyżyciowe i czynniki oddziałujące po pochówku. Rozwinięte zmiany przyżyciowe wpływają w istotny sposób na niszczenie zębów po ustaniu procesów życiowych. Ma na to także wpływ technologia i składniki użyte do mumifikacji jak też warunki w jakich mumia się znajduje w grobie (grobowcu).

Istotnym jest przyżyciowy stan zębów człowieka. Badania wskazują, że zęby młode są w mniejszym stopniu narażone na wtórne zmiany niż zęby przyżyciowo zniszczone. Wydaje się, że mniejszy wpływ ma na to okres z jakiego zęby pochodzą (Stare czy Nowe Państwo) choć pochówki dzieli niekiedy 1-2 tysiące lat.

Badania wskazują, że procesy niszczenia zębów rozwijające się w trakcie życia badanych osób nie odbiegały w czasach dynastycznych od tych, które obserwujemy dzisiaj. W zębach występują ubytki, które rozwijały się podobnie jak w zębach współczesnych. Wtórny minerał tworzącym się w ubytkach badanych zębów jest podobnie jak dzisiaj kalcyt poapatytowy.

W jednym z ubytków rozpoznano nagromadzenie minerałów ilastych, które można traktować bądź jako próbę leczenia (plombowania?) zęba, bądź jako substancję, która dostała się do zęba wtórnie.

Interesującym jest też, że na zębach obserwowano na kontakcie korzenia z koroną naloty kamienia nazębnego.

Zjawiska destrukcji po ustaniu procesów życiowych rozwijają się chętniej w zębach osób starszych, które przyżyciowo są częściowo zniszczone niż w zębach młodych. Różne procesy destrukcji obejmują zwłaszcza miejsca przyżyciowego zniszczenia zębów, w których to miejscach ich struktura zębów jest osłabiona.

Mumie poddawane były mumifikacji i trudno powiedzieć na ile ten proces wpłynął na niszczenie lub zakonserwowanie zębów. Wydaje się, że o ile sprzyjał on konserwacji tkanek miękkich to mógł powodować niszczenie zębów (i kości). Działo się tak dlatego, że wtórnie krystalizujące minerały (natron, halit) krystalizując mogły „rozsadzać” struktury zębów. Krystalizując mogły powodować oddzielenie się szkliwa od zębiny, powodować pęknięcia zarówno w obrębie szkliwa jak i zębiny (podłużne i poprzeczne). Tym, sposobem sprzyjały destrukcji zębów szczególnie w miejscach występowania ubytków.

W pustynnym klimacie mała jest szansa na krystalizację minerałów i in. substancji doprowadzonych z wilgocią z otoczenia grobów. W związku z tym można przypuszczać, że część substancji organicznych występujących w zębach

(zwłaszcza substancji nieprzeźroczystych) to żywice używane w procesie mumifikacji.

Osobny i wymagający dalszych badań jest problem zmian struktury apatytowo-kolagenowej zębów, przejawiający się strukturalnymi zmianami wpływającymi na optyczne właściwości zębiny obserwowane w mikroskopii polaryzacyjnej.

References

1. Ames V.E., Schour I., 1955 The effect of cavity preparation alone on the human dental pulp, *J Dent Res*, , 34:758.
2. Angeland K., 1957 Tissue changes in the dental pulp. An experimental histologic study, *Odontol Tidskr*, , 65, 1-146.
3. Ayrton E.R., Lorat W.L.S., 1911 Predynastic cemetery at el-Mohasna. London.
4. Bell L. S., 1990 Paleopathology and diagenesis: An SEM evaluation of structural changes using backscattered electron imaging. *Journal of Archaeological Science*, 17, 85-102.
5. Bocherens H., Brinkam D.B., Dauphin Y., Mariotti A., 1994 Microstructural and geochemical investigations on late Cretaceous archosaur teeth from Alberta, Canada. *Canadian Journal of Earth Science*, 31, 783-792
6. Bout I., Murray P.E. , Franquin J.C. et al., 2001 The effect of variable of the restoration of cavities on odontoblasts number and dentinal repair, *J Dent*. 29:109-117.
7. Chiaradia M., Gallay A., Todt W., 2003 Different contamination styles of prehistoric human teeth at a Swiss necropolis (Sion, Valais) inferred from lead and strontium isotopes. *Applied Geochemistry*v. 18, 3, 353-370.
8. Dauphin Y., Williams C. T. , 2004 Diagenetic trends of dental tissues. *Comptes Rendus Palevol*, 3, (6-7), 583-590.
9. Ergenholtz G., 1991 Iatrogenic injury to the pulp in dental procedures: aspects of pathogenesis, management and preventive measures, *Int. Dent J*, , 41, 99-110.
10. Garland A. N. , 1987 Paleohistology. *Science and Archaeology*, 29, 25-29.
11. Gutiérrez-Salazar M., Reyes-Gasga J. , 2003 Microhardness and chemical composition of human tooth. *Material Research*, 6, 1-7.
12. Hancock R. G. V., Grynpas M. D., & Pritzker K. P. H. (1989). The abuse of bone analyses for archeological dietary studies. *Archaeometry*, 31, 169-179.
13. Homono M., Maeda T., Suda H., Takhashi K. (eds), 1996 *Dentin/Pulp Complex*, Quintessence, Tokyo, 169-175.

14. Hess A.F., Lewis J.M, Roman B., 1932 Radiographic study of calcification of the teeth from birth to adolescence. *Dental Cosmos.*, 1053-106
15. Kohn M. J., Schoeninger M. J., Valley J. W. , 1996 Herbivore tooth oxygen compositions: Effects on diet and physiology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 3889-3896.
16. Kohn M. J., Schoeninger J., Barker W. W., 1999 Altered states: Effect on fossil tooth chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 2737-2747.
17. Longinelli A., 1983 Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: a new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 385-390.
18. Melanby M., 1927 The Structure of Human Teeth. *Brit. Dent. J.* Vol.48, 737-51
19. Murray P.E., Smith A.J., Windsor L.J., Mojon I.A., 2003 Remaining dentine thickness and human pulp responses, *Int. Endod J.* , 36:33-43.
20. Rink W. J., Schwarz H. P., 1995 Tests for diagenesis in tooth enamel: ESR dating signals and carbonate contents. *Journal of Archaeological Science*, 22, 251-255.
21. Simmer J. P., Fincham A. G., 1995 Molecular mechanism of dental enamel formation. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 6, 84-108.
22. Trueman C. N., Tuross N., 2002 Trace elements in recent and fossil bone apatite. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48, 489-521
23. Wopenka B., Pasteris J. D., 2005 A mineralogical perspective on the apatite in bone. *Materials Science and Engineering:C*, 25, 131-143.
24. Wychowański P., Kolmas L., Kalinowski E., Krzywicki D., Chomicki P., Gąsiorowska M., Wojtowicz A., & Kołodziejcki W., 2006 Analiza porównawcza szkliwa i zębiny ludzkich zębów prawidłowych i nadliczbowych metodą mikrospetrokopii w zakresie średniej podczerwieni. *Dental and medical problems*, 43, 53-57.

