

ANALIZA MIKRO-CT ZĘBÓW TRZONOWYCH WYPEŁNIANYCH KOMPOZYTEM KONWENCJO- NALNYM I WZMACNIANYM WŁÓKNEM SZKLANYM

BARBARA SUROWSKA¹, MONIKA OSTAPIUK^{1*}, BOŻENA TARCZYDŁO²

¹ KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ,
WYDZIAŁ MECHANICZNY, POLITECHNIKA LUBELSKA,
UL. NADBYSTRZYCKA 38D, 20-618 LUBLIN

² KATEDRA I ZAKŁAD STOMATOLOGII ZACHOWAWCZEJ Z ENDODONCJĄ,
I WYDZIAŁ LEKARSKI Z ODDZIAŁEM STOMATOLOGICZNYM,
UNIWERSYTET MEDYCZNY W LUBLINIE,
UL. KARMELICKA 7, 20-081 LUBLIN

* E-MAIL: M.OSTAPIUK@POLLUB.PL

Streszczenie

Utrata tkanek zmineralizowanych zęba zarówno w efekcie procesów patologicznych, jak i samego leczenia jest czynnikiem decydującym o osłabieniu zęba. Najczęściej pojawiają się pęknięcia na powierzchni wypełnienia w następstwie powtarzających się cykli nagryzień. Rozprzestrzeniają się one wówczas w zębie i wypełnieniach. Pęknięcia obok mikroprzecieków są jednym z głównych powodów wymiany wypełnień. Ostatnio najczęściej wybieranymi, zarówno przez lekarzy stomatologów jak i pacjentów, materiałami odtwórczymi są materiały kompozytowe. Istnieje wiele sposobów zwiększania odporności mechanicznej kompozytów stomatologicznych np. umieszczanie ich w formie licowania na konstrukcjach metalowych lub wprowadzania do ich wnętrza różnego rodzaju włókien: szklanych, węglowych, poliaramidowych lub polietylenowych. Jednym z takich innowacyjnych materiałów jest everX Posterior firmy GC, kompozyt wzmocniony krótkim włóknem szklanym. Materiał ten posiada właściwości mechaniczne zbliżone do zębiny, używany jest do wypełnień ubytków w zębach bocznych jako pierwsza warstwa odtwarzająca zębinę.

Zaawansowana nieniszcząca technika obrazowania struktur za pomocą tomografii komputerowej (CT) stanowi doskonałe narzędzie analizy jakości materiałów. Dlatego w prezentowanej pracy zastosowano technikę mikro-CT do analizy jakości wypełnienia i połączenia dwóch materiałów do odbudowy ubytków. W badaniu wykorzystano zęby trzonowe trzecie bez próchnicy usunięte ze względów ortodontycznych. Biomateriał kompozytowy wzmocniony włóknem szklanym everX Posterior firmy GC aplikowano jedną 2-3 mm warstwą, a następnie aplikowano kompozyt konwencjonalny Filtek Z250, 3M ESPE metodą warstwową 2-3 mm. Analizowana struktura zęba oraz materiałów kompozytowych potwierdza wysokiej jakości wypełnienia. Brak porowatości oraz szczeliny brzeżnej pozwala na wyeliminowanie mikroprzecieków pomiędzy wypełnieniami a tkanką zęba. Ponadto, granica rozdziału pomiędzy kompozytem wzmocnianym włóknami a kompozytem wzmocnianym nanocząstkami wydaje się doskonała.

Słowa kluczowe: mikrotomografia komputerowa, wypełnienia kompozytowe, adhezja, struktura

[Inżynieria Biomateriałów 137 (2016) 13-19]

MICRO-CT ANALYSIS OF MOLAR TEETH RESTORED BY COMBINING CONVENTIONAL AND GLASS FIBRE REINFORCED COMPOSITES

BARBARA SUROWSKA¹, MONIKA OSTAPIUK^{1*}, BOŻENA TARCZYDŁO²

¹ DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING,
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,
LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
NADBYSTRZYCKA STR. 38D, 20-618 LUBLIN, POLAND

² DEPARTMENT OF CONSERVATIVE DENTISTRY AND ENDODONTICS,
I FACULTY OF MEDICINE WITH DENTISTRY DIVISION,
MEDICAL UNIVERSITY OF LUBLIN,
KARMELICKA STR. 7, 20-081 LUBLIN, POLAND

* E-MAIL: M.OSTAPIUK@POLLUB.PL

Abstract

The loss of mineralized tissues of the tooth as a result of pathogenic processes and treatment is the principal factor leading to tooth weakening. Most frequently, the cracks occur on the filling surface as a result of repeatable cycles of bites. They propagate in the tooth and the filling. The cracks belong to the reasons of filling's replacement and consequently affecting filling's durability. Recently, composite materials are most frequently selected by the dentists and patients as reconstruction materials. There are many ways of increasing mechanical resistance of dental composites e.g. their location in the form of facing on metal structures or introduction of various fibres made of glass, carbon, aramid or polyethylene. EverX Posterior is manufactured by GC in the form of composite reinforced with short glass fibres. The properties of this material are similar to the properties of dentine. Therefore it is used for cavity filling in side teeth as the first layer of dentine reconstruction.

Advanced non-destructive structures imaging technique by means of computer tomography (CT) is an excellent tool used for materials quality analysis. So the micro-CT analysis of quality and joining of restorative materials based on different filler was presented in this paper. Third molars without caries, extracted due to orthodontic reasons, have been used in the test. Composite biomaterial reinforced with glass fibre - everX Posterior by GC – was applied in the form of single layer and next Filtek Z250, 3M ESPE conventional composite was applied in the form of layer with a thickness of 2-3 mm. Analysed structure of the tooth and composite materials confirms the high quality of the restoration. The filling received by layer technique is free of porosities, thus suggesting the lack of micro-leakages between the filling and tooth tissues. Moreover, the interface between the fibre reinforced and particle reinforced nanocomposite biomaterials seems to be ideal.

Keywords: computer micro-tomography, fillings, composite restoration, adhesion, structure

[Engineering of Biomaterials 137 (2016) 13-19]

Choroba próchnicowa i jej następstwa doprowadzają do nieodwracalnej utraty tkanek zęba. Głównym celem i zadaniem stomatologii odtwórczej jest ich rekonstrukcja oraz przywrócenie estetyki i funkcji zęba w układzie stomatognatycznym przy zachowaniu odpowiedniej trwałości wykonanej odbudowy. Właściwie wykonana odbudowa tkanek zęba wpływa na jego wytrzymałość mechaniczną, odporność na obciążenia i inne złożone czynniki fizyko-chemiczne działające w jamie ustnej [1-3]. Współczesna literatura dostarcza licznych doniesień dotyczących osłabienia tkanek zębów w wyniku leczenia próchnicy oraz leczenia endodontycznego. Reeh i wsp. [4], stwierdzili, że w przypadku ubytku MOD (ang. *Mesio-Distal-Occlusal*) dochodzi do osłabienia wytrzymałości mechanicznej zęba aż o 63%, a uzyskanie dostępu do jamy zęba podczas leczenia kanałowego skutkuje 5% spadkiem wytrzymałości mechanicznej. Podobne wnioski wysunęli Becciani i Castellucci [5], według których leczenie endodontyczne prowadzi do osłabienia struktur zęba i zmiany właściwości fizyko-mechanicznych. Wielu autorów twierdzi [4,6,7], że czynnikiem decydującym o osłabieniu zęba jest utrata jego tkanek zmineralizowanych zarówno w efekcie procesów patologicznych, jak i samego leczenia.

Ostatnio najczęściej wybieranymi, zarówno przez lekarzy stomatologów jak i pacjentów, materiałami odtwórczymi są materiały kompozytowe. Zgodnie z definicją materiał kompozytowy składa się z osnowy i wzmocnienia. W wypełnieniach stomatologicznych krótkie włókna szklane zatrzymują i zapobiegają rozprzestrzenianiu się pęknięć. Najczęściej pęknięcia zachodzą od powierzchni materiału kompozytowego, przechodząc w głąb materiału, aż do struktury zęba. Jedną z przyczyn wymiany wypełnień są właśnie pęknięcia. Ze względu na mikroprzeciek oraz pęknięcia wewnątrz materiału prowadzone są próby poprawy ich właściwości m.in. zwiększenia ich odporności mechanicznej [8]. Wymaga to modyfikacji zarówno poszczególnych składników, takich jak żywica i wzmocnienie, jak i ich połączenia (interfaza). Próby dotyczą zmiany wielkości cząstek wzmocnienia (od makro- do nanocząstek), ilości wzmocnienia lub składu chemicznego polimerowej osnowy [9]. Wytrzymałość biomateriałów kompozytowych na zniszczenie nie jest wysoka, na ogół nie przekracza 140 MPa [10,11]. Istnieje wiele sposobów zwiększania odporności mechanicznej kompozytów stomatologicznych np. umieszczanie ich jako licówka na podłożu metalowym lub wprowadzanie do ich wnętrza różnego rodzaju włókien: szklanych, węglowych, aramidowych lub polietylenowych [10,12-15]. Jednym z takich innowacyjnych materiałów jest everX Posterior firmy GC, kompozyt wzmocniony krótkim włóknem szklanym. Materiał ten posiada właściwości mechaniczne zbliżone do zębiny, używany jest do wypełnień ubytków w zębach bocznych jako pierwsza warstwa odtwarzająca zębinę. EverX Posterior zawiera 3 główne składniki: żywice Bis-GMA, TEGDMA, PMMA, które tworzą częściowo przenikającą się sieć polimerów, która z kolei zapewnia dobre połączenie z innymi materiałami kompozytowymi. Drugi składnik to włókno szklane, a trzeci - nieorganiczne cząsteczki szkła borowego [9,16]. Według badań laboratoryjnych everX Posterior wykazuje zmniejszony skurcz polimerizacyjny, a przez to zmniejszony mikroprzeciek brzeżny [16]. Badania in vivo everX Posterior prowadzone przez Garoushi i wsp. [8,17] wskazują na dobre właściwości kliniczne tego materiału, zaś badania in vitro wykazały odporność na oddziaływanie zmiennych obciążeń [18]. Oprócz adhezji chemicznej, włókna wprowadzają retencję mechaniczną w celu zapewnienia dobrego wiązania z każdym nałożonym na niego kompozytem i tkankami zęba [8,9,16,18]. Zastosowanie kompozytu z włóknami szklanymi oraz konwencjonalnego umożliwia biomimetyczną odbudowę struktury zęba.

Dental caries and its consequences lead to irreversible loss of tooth tissues. The principal aim and task of restorative dentistry is their reconstruction and recovery of aesthetical features and functions of a tooth in stomatognathic system and maintenance of proper durability of the performed restoration. The correct reconstruction of tooth tissues contributes to its mechanical strength, resistance to loads and other complex physicochemical factors occurring in oral cavity [1-3]. Contemporary literature describes numerous cases of teeth tissues weakening as a result of caries treatment and orthodontic treatment. Reeh et al. [4] found that MOD (*Mesial-Occlusal-Distal*) loss leads to the reduction of mechanical strength of the tooth even by 63% and that access reached to tooth cavity in course of canal treatment results in mechanical strength reduction of 5%. Similar conclusions have been drawn by Becciani and Castellucci [5]. In their opinion, endodontic treatment leads to weakening of tooth structures and change of physico-mechanical properties. In the opinion of many authors [4,6,7], the loss of mineralized tissues of the tooth as a result of pathogenic processes and as a result of the treatment is the principal factor leading to tooth weakening.

Recently, composites are reconstruction materials which are most frequently selected by the dentists and patients. In accordance with their definition, composite material consists of matrix and reinforcement. The short glass fibres in composites prevent the initiation of cracks and their propagation. Most frequently, the cracks originate from composite material surface and reach tooth structure propagating within material. Cracks are one of the reasons for fillings replacement. Due to micro leakage and inner cracks of the material, the efforts are continued in order to improve its properties among others to increase its mechanical resistance [8]. Therefore it is necessary to modify individual components i.e. resin and filler as well as their bonding (interface). The studies are associated with variation of filler particles size (from macro-fillers to nano-fillers), filler amount or chemical composition of polymer matrix [9]. The strength of these composite biomaterials is not sufficient; generally it is not higher than 140 MPa [10,11]. There are many ways for increasing mechanical resistance of dental composites e.g. their location as veneer on metal substrate or introduction of various types fibres made of glass, carbon, aramid or polyethylene [10,12-15]. EverX Posterior manufactured by GC in the form of composite reinforced with short glass fibres is considered as an innovative material. The properties of this material are similar to the properties of dentine. Therefore it is used for restoring losses in side teeth as the first layer of dentine reconstruction. EverX Posterior contains 3 principal components i.e. Bis-GMA, TEGDMA, PMMA resins creating semi-Interpenetrating polymer network ensuring proper bonding with other composite materials. Glass fibres are the second component and inorganic particles of boride glass represent the third one [9,16]. In accordance with laboratory tests, everX Posterior is characterized by reduced polymerization shrinkage and consequently by reduced edge micro leakage [16]. EverX Posterior in vivo tests carried out by Garoushi et al. [8,17] indicate good clinical properties of this material and in vitro tests demonstrated resistance to the impact of variable loads [18]. Except of chemical adhesion, the fibres improve the mechanical retention in order to proper bonding with each composite applied thereon and with tooth tissues [8,9,16,18]. The use of composite with glass fibres and conventional composite enables the biomimetic reconstruction of tooth structure.

Zaawansowana nieniszcząca technika obrazowania struktur za pomocą tomografii komputerowej (CT) stanowi doskonałe narzędzie analizy jakości materiałów. Badacze wykorzystują tomografię w celach monitorowania skurczu polimeryzacyjnego oraz mikroprzecieków w tkankach zębów i wypełnieniach. Metoda CT umożliwia również dokładną lokalizację porowatości i innych nieciągłości, które występują w strukturze. Mikrotomografia komputerowa (mikro-CT), pozwala na otrzymanie obrazów 2D i 3D o wysokiej rozdzielczości przestrzennej struktury małych obiektów. Metoda ta została rozpowszechniona w medycynie do badania struktury i zawartości mineralnej kości i zębów [19-22]. Stwierdzono również, że wykorzystanie tego narzędzia staje się niezbędne do wizualizacji cech strukturalnych w tkankach, do wsparcia inżynierskich zastosowań w regeneracji tkanek [23,24]. W materiałach stomatologicznych badania mikro-CT wykorzystuje się do analizy struktur na granicy faz zębiny i klejów kompozytowych [25], w celu scharakteryzowania zawartości mineralnej szkliwa i zębiny [26], a także jakościowej oceny 3D adaptacji brzeżnej [27]. Wyniki mikro-CT mogą również być wykorzystane do wyznaczenia konturów powierzchni szkliwa, zębiny i wypełnień w celu wygenerowania modeli 3D za pomocą metody elementów skończonych [28].

Celem pracy jest ocena jakości połączenia materiału kompozytowego wzmocnionego włóknem szklanym z kompozytem konwencjonalnym oraz tkankami zęba za pomocą mikrotomografii komputerowej. Wykonana została analiza 2D i 3D jakości wypełnień oraz adhezji na granicy dwóch różnych kompozytów i granicy z tkankami zęba.

Materiały i metody

W badaniu wykorzystano zęby trzonowe trzecie (pięć zębów ludzkich) bez próchnicy, usunięte ze względów ortodontycznych. Po ekstrakcji zęby były oczyszczane z resztek tkanki łącznej oraz osadu, a następnie umieszczane w wodzie destylowanej. Próbkę przechowywano w temperaturze pokojowej. W każdym zębie opracowywano ubytek kl. I według Blacka na głębokość 6 mm, następnie trawiono techniką „total etch”, płukano i aplikowano system łączący (ADPER Single Bond 2, 3M ESPE) zgodnie z obowiązującymi zasadami i zaleceniami producenta. Biomateriał kompozytowy wzmocniony włóknem szklanym everX Posterior firmy GC aplikowano jedną 3 mm warstwą i polimeryzowano lampą polimeryzacyjną LED (TPCD Advanced, USA) o parametrach: widmo 440-490 nm, moc 900 mW/cm². Następnie aplikowano kompozyt konwencjonalny (Filtek Z250, 3M ESPE) metodą warstwową 2-3 mm i polimeryzowano zgodnie z zaleceniami producenta. Po zakończeniu polimeryzacji wypełnienia opracowano diamentem osadzonym w turbinie z użyciem natrysku wodnego i gumkami z pastą do polerowania. Przygotowane próbki umieszczono w wodzie destylowanej, transportowano, a następnie poddawano analizie za pomocą mikrotomografii komputerowej.

Badania mikro-CT zostały wykonane w Katedrze Inżynierii Materiałowej Politechniki Lubelskiej. Wykorzystano do tego celu mikrotomograf komputerowy SkyScan 1174 (Bruker, Belgia) z kamerą VDS 1.3Mp FW o rozdzielczości 1024x1024. Najważniejsze parametry skanowania przedstawiały się następująco: napięcie lampy 50 kV, natężenie 800 μ A, rozdzielczość obrazu to 15,13 μ m, czas ekspozycji 3400 ms, kąt obrotu 0,7°, średnia liczba klatek 3. Skanowanie próbek wykonywane było bez filtra. Czas skanowania wynosił około 1 h i 6 min. Wykorzystane zostało oprogramowanie: do rekonstrukcji obrazu NRecon ver. 1.6.10.4, do analizy 2D DataViewer ver. 1.5.2.4 oraz analizy 3D CTVox ver. 3.1.2.

Advanced non-destructive structures imaging technique by means of computer tomography (CT) is an excellent tool used for materials quality analysis. CT is used by researchers for monitoring of polymerization shrinkage and micro leakages in teeth tissues and fillings. By means of CT method it is also possible to precisely determine the location of porosities and other discontinuities. Computer micro-tomography (micro-CT) is applied in order to obtain 2D and 3D images of small objects structure with high spatial resolution. This method has been commonly recognized in medicine for examination of structure and mineral content of bones and teeth [19-22]. It has been also found that the use of this tool becomes necessary for visualization of structural features in tissues in order to support engineering applications in tissues regeneration [23,24]. In the case of dentistry materials, micro-CT examinations are used for analysis of structures on the dentine and composite adhesives interface [25] in order to characterize mineral content of enamel and dentine [26] as well as for qualitative 3D evaluation of edge adaptation [27]. The results of micro-CT can be also used for creation of surface contours for enamel, dentine and fillings in order to generate 3D models by means of finite elements method [28].

The purpose of the study is to evaluate the quality of bonding of composite material reinforced with glass fibre with conventional composite and tooth tissues by means of computer micro-tomography. 2D and 3D analysis has been carried out to evaluate the quality of adhesion at the interface between the two different composites including tooth tissues.

Materials and Methods

Third molars (five human teeth) without caries extracted due to orthodontic reasons have been used in the test. After extraction the teeth were cleaned in order to eliminate residuals of connective tissue and deposit, and then placed in distilled water. The specimens were stored at room temperature. Black Class I lesion has been prepared in each tooth to the depth of 6 mm and etched using total etch technique. After flushing, the bonding system (ADPER Single Bond 2, 3M ESPE) was applied in accordance with applicable principles and manufacturer's recommendations. Composite biomaterial reinforced with glass fibre - everX Posterior manufactured by GC - was applied in the form of single layer and then polymerized by means of LED polymerization lamp (TPCD Advanced, USA, spectrum of 440-490 nm, power of 900 mW/cm²). Then conventional composite (Filtek Z250, 3M ESPE) was applied in the form of layer with a thickness of 2-3 mm and polymerized in accordance with manufacturer's recommendations. After polymerization, the restorations were stripped by means of diamond seated in the turbine and with water spray, and then rubbers with polishing paste. Prepared specimens were placed in distilled water, transported and analysed by computer micro-tomography method.

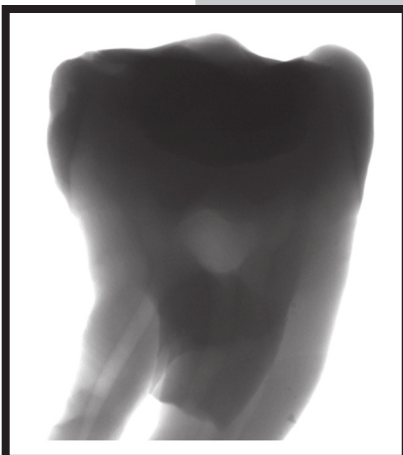
Micro-CT tests have been conducted in the Department of Materials Engineering of Lublin University of Technology by means of SkyScan 1174 computer micro-tomography (Bruker, Belgium) with VDS 1.3Mp FW camera with resolution of 1024x1024. The most important scanning parameters were: lamp voltage of 50 kV, current value of 800 μ A, image resolution of 15.13 μ m, time of exposure of 3400 ms, rotation angle of 0.7°, average number of frames was equal to 3. Specimens' scanning was carried out without any filter. Scanning time was equal to 1 h and 6 min. Software NRecon ver. 1.6.10.4 for image reconstruction, 2D DataViewer ver. 1.5.2.4 for 2D analysis and 3D CTVox ver. 3.1.2 for 3D analysis were applied.

Wyniki uzyskane za pomocą mikrotomografu komputerowego przedstawiono na RYS. 1-3. Projektcja rentgenowska na RYS. 1 przedstawia strukturę zęba, który zawiera trzy kanały, zębinę, szkliwo oraz założone wypełnienia. Ze stopnia absorpcji promieniowania można wnioskować o gęstości materiałów. Z RYS. 1 wynika, że największą gęstość posiadają wypełnienia (występowanie cząsteczek siarczanu baru) oraz szkliwo. Na etapie projekcji (tzn. tradycyjnego zdjęcia rtg), nie można odróżnić od siebie wypełnień. Niewidoczna również jest granica połączenia pomiędzy nimi.

RYS. 2 przedstawia zrekonstruowane obrazy 2D zęba w osiach XYZ. Wyróżnić można system mezialno-policzkowy, dystalno-policzkowy i przekroje. Miejsca przecięcia pod kątem prostym linii na rysunkach oznaczają wybrane przekroje i odpowiadające im zrekonstruowane obrazy. Na RYS. 2a wyróżniono wypełnienie everx Posterior natomiast na RYS. 2b konwencjonalny kompozyt. W obydwu wypełnieniach przy zastosowanej rozdzielczości 15 μm nie zauważono porowatości, struktura wydaje się być jednolita. Również rozważając połączenie na granicy z tkankami zęba widać dobre przyleganie obydwu wypełnień zarówno do szkliwa, jak i zębiny. Natomiast na RYS. 2c wykonano białą linią zarys wyraźnej granicy oddzielającej dwa różne wypełnienia. Są one zbliżone do siebie gęstością, przez co absorpcja promieniowania również jest podobna, co przekłada się na poziom odcieni szarości na obrazach. Parametry geometryczne charakteryzujące oba materiały wypełnienia przedstawiono w TABELI 1.

Rekonstrukcja 3D (RYS. 3a i b) pozwoliła również na obserwację poszczególnych składowych zęba. Wyraźnie widoczne na RYS. 3a jest ukształtowanie „guzków” w zębie oraz długość szkliwa zęba. Na RYS. 3b przedstawione zostało tzw. „wybranie struktury” w celu ujawnienia jakości wewnętrznej struktury. Najlepiej widoczne jest szkliwo oraz wypełnienia. Również w tym przypadku widoczna jest granica połączenia dwóch wypełnień. Nie zaobserwowano porowatości ani mikroprzecieków, przez co wydaje się, że ten sposób wypełnienia może zapobiegać występowaniu mikroprzecieków.

W technice warstwowej łączenie różnych pod względem struktury materiałów jest czynnikiem kluczowym i decydującym o trwałości wypełniania ubytków. Materiał EverX Posterior na bazie włókien szklanych przeznaczony jest do technik warstwowych. Niestety jest materiałem do wypełnień podwójnych, tzn. nie jest zakładany jednostkowo. Musi być stosowany w połączeniu z drugim wypełnieniem, stąd adhezja pomiędzy dwoma strukturami stanowi dość istotny czynnik. Ze względu na to, że w materiale występują włókna, oprócz wymaganej adhezji chemicznej, włókna przenoszą część obciążeń mechanicznych, stąd potrzeba bardzo dobrego wiązania pomiędzy drugim nałożonym kompozytem, a tkankami zęba. Przykrycie wystających włókien z wypełnienia everX Posterior drugim materiałem również ma znaczenie, ze względu na brak technik skracania lub usuwania wystających włókien w materiale po założeniu wypełnienia. EverX Posterior jest zakładany zawsze najgłębiej w ubytku jako dolne wypełnienie, tak aby drugi materiał go „przykrywał”.



RYS. 1. Projektcja rentgenowska z dwoma wypełnieniami kompozytowymi w koronie zęba.
FIG. 1. X-Ray projection with two composite restorations in tooth crown.

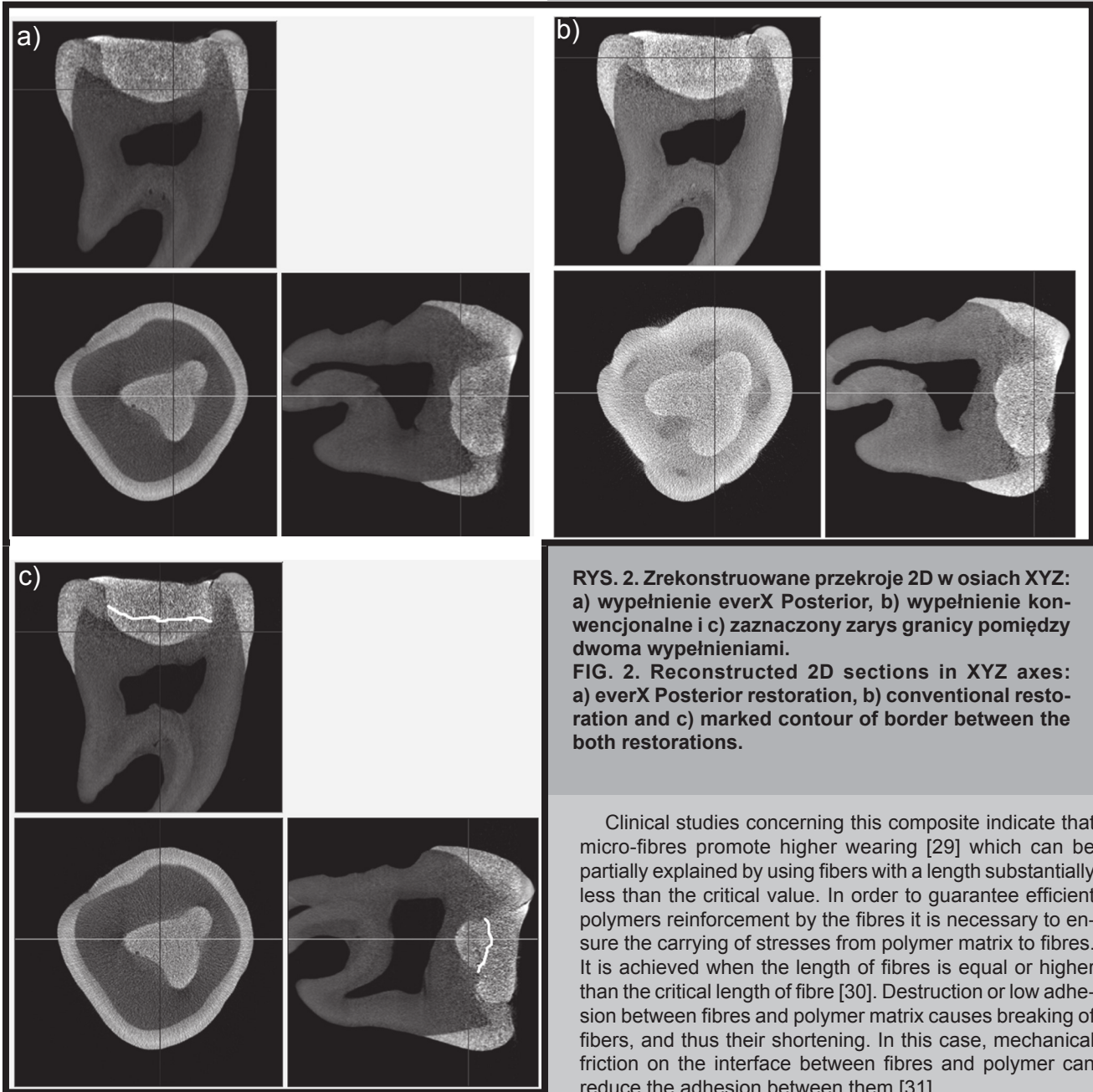
The results obtained by means of computer micro-tomography are illustrated in FIGs 1-3. X-Ray projection in FIG. 1 illustrates the structure of tooth with three distinctive canals, dentine, enamel and applied composites. Density of materials can be estimated from the degree of radiation absorption. FIG. 1 shows that the composites and enamel are characterized by the highest density (the composite possesses a barium sulphate particles). It is impossible to distinguish the composites in this projection (i.e. conventional X-Ray picture). The interface between two biomaterials is not detectable.

FIG. 2 illustrates reconstructed 2D images of the tooth sectioned in the XYZ axes reference system according to the mesio-distal-, buccal-palatal-, cross-sections. It is possible to see the enamel, dentine and two various composites. The adhesive layer (bond) is undetectable. The areas of intersection of perpendicular lines on the drawings determine selected

cross-sections and corresponding reconstructed images. EverX Posterior filling has been distinguished in FIG. 2a and conventional composite in FIG. 2b. At a resolution of 15 μm no porosity has been detected in both restorative materials; the structure seems to be uniform. Also the interface with tooth tissues is characterized by correct bonding of both composites to the enamel and dentine. In FIG. 2c, white line represents the contour of the detected interface separating two composites. Their density is similar and therefore radiation absorption is also similar what reflects in the greyscale in the images. The geometrical parameters characterizing the composite restorations are shown in TABLE 1.

3D reconstructions (FIG. 3a and b) allowed observation individual components of the tooth. Contours of “nodules” in the tooth and the length of tooth enamel are clearly visible in FIG. 3a. The so-called “structure recess” has been specially completed in FIG. 3b in order to disclose the quality of internal structure. Also in this case, the border between both composites is visible. Neither porosity nor microleakage has been observed, thus suggesting that the restoration prevents microleakage.

Combination of materials with various structures is the key factor in layer technique which determines the durability of the restoration. EverX Posterior fibre glass material is dedicated for layer techniques. Unfortunately, it also requires the use of a traditional composite i.e. it is applied in the deepest layers of the cavity, but the restoration must be completed with a particle reinforced composite. Therefore the adhesion between these composites is rather an essential factor. Due to the presence of fibres in the material, except of required chemical adhesion, part of the mechanical loads is carried by the fibres. Therefore it is required to ensure an excellent bonding between the second applied composite and tooth tissues. Covering of the protruding fibres from the everX Posterior filling with the other material is also important due to lack of removal or shortening techniques of protruding fibres from composite material. EverX Posterior is always placed deep into the cavity and “covered” with the second material.



RYS. 2. Zrekonstruowane przekroje 2D w osiach XYZ: a) wypełnienie everX Posterior, b) wypełnienie konwencjonalne i c) zaznaczony zarys granicy pomiędzy dwoma wypełnieniami.

FIG. 2. Reconstructed 2D sections in XYZ axes: a) everX Posterior restoration, b) conventional restoration and c) marked contour of border between the both restorations.

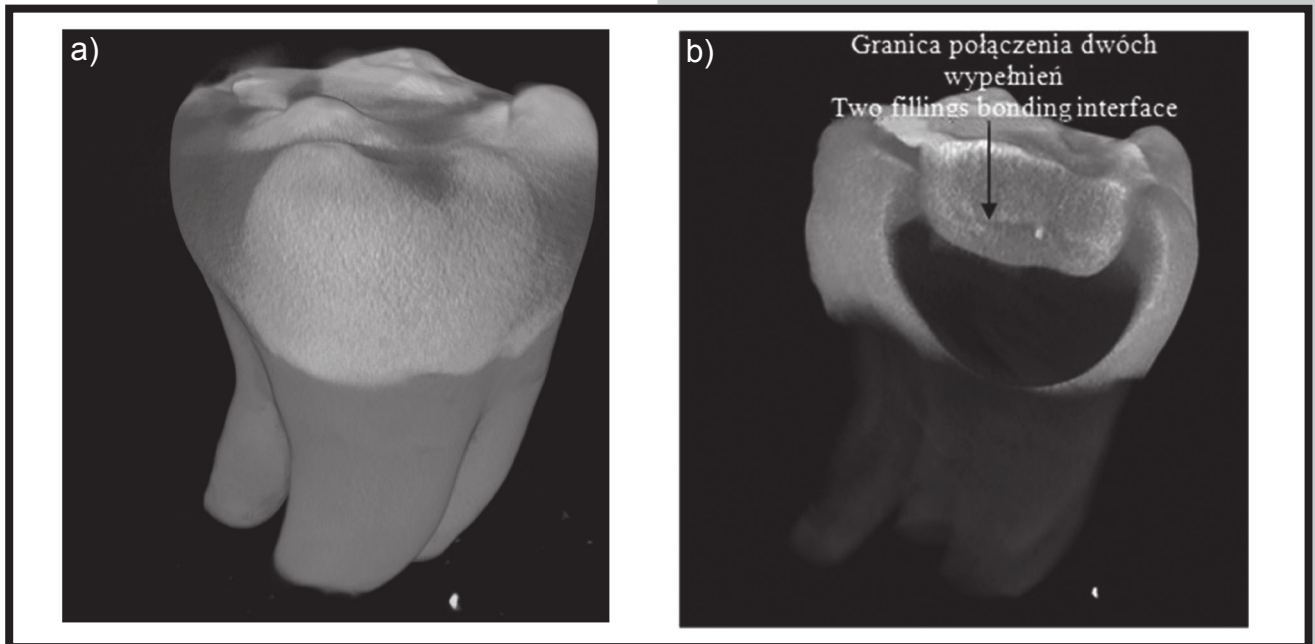
Clinical studies concerning this composite indicate that micro-fibres promote higher wearing [29] which can be partially explained by using fibers with a length substantially less than the critical value. In order to guarantee efficient polymers reinforcement by the fibres it is necessary to ensure the carrying of stresses from polymer matrix to fibres. It is achieved when the length of fibres is equal or higher than the critical length of fibre [30]. Destruction or low adhesion between fibres and polymer matrix causes breaking of fibers, and thus their shortening. In this case, mechanical friction on the interface between fibres and polymer can reduce the adhesion between them [31].

Badania kliniczne dotyczące wypełnień wykazują, że kompozyty z mikrowłóknami wykazują wyższe zużycie [29], które można częściowo wyjaśnić użyciem włókien o długości znacznie poniżej wartości krytycznej. Aby włókna spełniały rolę skutecznego wzmocnienia polimerów, niezbędne jest przenoszenie naprężeń z matrycy polimerowej na włókna. Osiąga się to wtedy, gdy włókna mają długość równą lub większą niż tzw. krytyczna długość włókna [30]. Zniszczenie lub niska przyczepność pomiędzy włóknami i matrycą polimerową powoduje łamanie włókien, a więc ich skracanie. W tym przypadku, tarcie mechaniczne na granicy pomiędzy włóknami i polimerem może obniżyć pomiędzy nimi adhezję [31].

TABELA 1. Parametry geometryczne wypełnień kompozytowych w zębie z RYS. 1, 2, 3.

TABLE 1. Geometrical parameters of composite restorations in tooth from FIGS 1, 2, 3.

Material Material	Średnia grubość warstwy Average thickness of layer [mm]	Średnia objętość Average volume [mm ³]	Średnia powierzchnia Average surface [mm ²]	Stosunek powierzchni do objętości Average surface/volume ratio BS/BV [1/mm]
Kompozyt konwencjonalny Conventional composite	2.18	66.73	614	9.02
Kompozyt wzmocniany włóknem szklanym Glass fibre reinforced composite	1.39	47.27	438	6.56



RYS. 3. Widok 3D struktury zęba trzeciego trzonowego: a) obrazowanie 3D powierzchni zewnętrznej i b) obrazowanie 3D środkowej części zęba z widocznymi dwoma kompozytami.

FIG. 3. 3D view of third molar structure: a) 3D imaging of outer surface and b) 3D imaging of the central part of the tooth where the two composites can be distinguished.

Tezvergil i inni [32] wykazali, że orientacja włókien jest ważnym czynnikiem wpływającym na wartość skurczu polimeryzacyjnego. Skurcz wzdłuż kierunku włókien jest niski. Zgodnie z tym, wypełnienia z włóknami krótkimi (losowo zorientowane) mogą absorbować część naprężeń wywołanych skurczem polimeryzacyjnym oraz zwiększać naprężenie - odciążenie w polimerowej osnowie. Może prowadzić to do zmniejszania mikroprzecieku i poprawiać adhezję materiałów. W przypadku everX Posterior włókna ułożone są chaotycznie, przypadkowo, co potwierdza założenia Tezvergila.

Abouelleil i inni [9] badali everX Posterior, który wykazywał znacząco wyższą wartość odporności na kruche pękanie, w porównaniu z innymi kompozytami. Analiza SEM wykazała, że włókna zatrzymują propagację pęknięć wzdłuż linii złamania. To znaczy, że wprowadzenie włókna kompozytowego prowadzi do znacznej poprawy właściwości fizycznych i mechanicznych, takich jak wytrzymałość na zginanie, odporność na kruche pękanie i twardość. Williams i in. [33] uważają, że na wartość modułu sprężystości w obszarze granicy rozdziału mają wpływ dwa zjawiska: efekt chemiczny i mechaniczny. Obecność sztywnego włókna w sąsiedztwie granicy faz przyczynia się do podwyższenia parametrów wytrzymałościowych.

Metoda mikro-CT nie pozwala na ujawnienie rozkładu włókien w kompozycie everX Posterior, ze względu na zbliżoną absorpcję promieniowania rtg komponentów.

Wnioski

Badania za pomocą mikrotomografii komputerowej stanowią alternatywę dla badań rtg jako metoda nieniszcząca dająca wizualizację struktury 2D i 3D. Analizowana struktura zęba oraz materiałów kompozytowych potwierdza wysokiej jakości wypełnienia. Wypełnienie wykonane techniką warstwową nie zawiera porowatości, sugeruje to uzyskanie braku mikroprzecieku pomiędzy zakładanymi wypełnieniami a strukturą zęba. Uzyskano potwierdzenie dobrego połączenia na granicy everX Posterior i konwencjonalnego kompozytu.

Tezvergil et al. [32] demonstrated that fibres orientation is an important factor affecting the value of polymerization shrinkage. The value of shrinkage along the fibres is low. Therefore the fillings with short fibres (randomly oriented) can partially absorb stresses caused by polymerization shrinkage and increase the stress - release in polymer matrix. This phenomenon can lead to the reduction of micro-leakage and to the improvement of materials adhesion. In the case of everX Posterior, the fibres arrangement is chaotic and random which confirms Tezvergil's assumptions.

Abouelleil et al. [9] examined everX Posterior and reported significantly higher resistance to brittle cracking in comparison with other composites. SEM analyses demonstrated that the fibres stop cracks propagation along fracture line. It means that fibres addition leads to significant improvement of physical and mechanical properties i.e. bending strength, resistance to brittle cracking and Vicker's hardness. Williams et al. [33] assumed that the value of the modulus of elasticity in the interface area is affected by two phenomena: chemical and mechanical effect. The presence of stiff fibre in the interface area contributes to the increase of strength parameters.

It is impossible to reveal distribution of fibres in everX Posterior composite by micro-CT because of similar X-Ray absorption of components.

Conclusions

Research using computer micro-tomography are an alternative to X-Ray testing as a non-destructive method enabling 2D and 3D visualization. Analyzed structure of the tooth and composite materials confirms high quality of the restoration. The restoration by means of layer technique is free of pores, thus suggesting the lack of micro-leakages between the applied biomaterials and tooth tissues. The presence of proper bonding has been confirmed at the interface between everX Posterior and conventional composite.

Podziękowania

Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej oraz I Wydziału Lekarskiego z Oddziałem Stomatologicznym Uniwersytetu Medycznego w Lublinie.

Acknowledgments

The work has been implemented within the statutory research of Faculty of Mechanical Engineering at Lublin University of Technology and Faculty of Medicine with Dentistry Division at Medical University of Lublin.

Piśmiennictwo

- [1] Vire D.E.: Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *J Endodont* 17(7) (1991) 338-342.
- [2] Sjogren U., Hagglund B., Sundqvist G., Wing K.: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endodont* 16(10) (1990) 498-504.
- [3] Sorensen J.A., Martinoff J.T.: Intracoronal reinforcement and coronal coverage: A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51 (6) (1984) 780-784.
- [4] Reeh E.S., Messer H.H., Douglas W.H.: Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endodont* 15 (11) (1989) 512-516.
- [5] Becciani R., Castelucci A.: La biomeccanica del dente trattato endodonticamente. *Implicazioni cliniche. Dental Cadmos* 1 (2002) 15-35.
- [6] Hood J.A.: Biomechanics of the intact, prepared and restored tooth: some clinical implications. *Int Dent J* 41(1) (1991) 25-32.
- [7] Sedgley C.M., Messer H.H.: Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endodont* 18(7) (1992) 332-335.
- [8] Garoushi S., Säilynoja E., K. Vallittu P., Lassila L.: Physical properties and depth of cure of a new short fibre reinforced composite. *Dent Mater* 29 (2013) 835-841.
- [9] Abouelleil H., Pradelle N., Villat C., Attik N., Colon P., Grosogeat B.: Comparison of mechanical properties of a new fibre reinforced composite and bulk filling composites. *Restorative Dentistry and Endodontics* 40(4). (2015) 262-270.
- [10] Raszewski Z., Nowakowska D.: Odporność mechaniczna materiałów kompozytowych wzmocnionych włóknami aramidowymi – badania in vitro *Protetyka Stomatologiczna. LIX* 6 (2009) 407-414.
- [11] Vallittu P. K.: Experiences of the use of glass fibres with multiphase acrylic resins systems, In Vallittu PK, editor. *The first symposium of fibre reinforced plastic in dentistry in the proceedings of the 22nd annual EPA conference Paper II* (1998).
- [12] Goldberg A.J., Bustone C.J.: The use of continuous fibre reinforcement in dentistry. *Dent Mater* 8 (1992) 197-202.
- [13] Guteridge D.L.: The effect of including ultra – high modulus poly ethylene fibre on the impact strength of acrylic resins. *Brit Dent J* 164 (1988) 177-80.
- [14] Krenchel H.: *Fibre reinforcement*. Copenhagen: Akademisk Forlag, (1964) 11-38.
- [15] Vallittu P.K.: Flexural properties of acrylic resins polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibres. *J Prosthet Dent* 8 (1999) 318-326.
- [16] Tsujimoto A., Barkmeier W.W., Takamizawa T., Latta M.A., Miyazaki M.: Bonding performance and interfacial characteristics of short fiber-reinforced resin composite in comparison with other composite restoratives. *EUR J ORAL SCI* 124 (2016) 301-308.
- [17] Garoushi S., Tanner J., Vallittu P.K., Lassila L.V.J.: Preliminary clinical evaluation of short fibre-reinforced composite resin in posterior teeth: 12-months report. *The Open Dentistry Journal* 6 (2012) 41-45.
- [18] Lassila L., Garoushi S., Vallittu P., Säilynoja E.: Mechanical properties of fibre reinforced restorative composite with two distinguished fibre length distribution *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 60 (2016) 331-338.

References

- [19] Kalender W.A.: X-ray computed tomography. *Phys Med Biol* 51 (2006) 29-43.
- [20] Stock S.R., Barss J., Dahl T., Veis A., Almer J.D.: X-ray absorption microtomography (microCT) and small beam diffraction mapping of sea urchin teeth. *J Struct Biol* 139 (2002) 1-12.
- [21] Rueggeger P., Koller B., Muller R.: A microtomographic system for the nondestructive evaluation of bone architecture. *Calcified Tissue Int* 58 (1996) 24-29.
- [22] Plotino G., Grande N.M., Pecci R., Bedini R., Pameijer C.N., Somma F.: Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. *J Am Dent Assoc* 137 (2006) 1555-1556.
- [23] Landis F.A., Stephens J.S., Cooper J.A., Cicerone M.T., Lin-Gibson S.: Tissue engineering scaffolds based on photocured dimethacrylate polymers for in vitro optical imaging. *Biomacromolecules* 7 (2006) 1751-1757.
- [24] Ho S.T., Hutmacher D.W.: A comparison of micro CT with other techniques used in the characterization of scaffolds. *Biomaterials* 27 (2006) 1362-1376.
- [25] De Santis R., Mollica F., Prisco D., Rengo S., Ambrosio L., Nicolais L.: A 3D analysis of mechanically stressed dentin–adhesive–composite interfaces using X-ray micro-CT. *Biomaterials* 26 (2005) 257-270.
- [26] Efeoglu N., Wood D.J., Efeoglu C.: Thirty-five percent carbamide peroxide application causes in vitro demineralization of enamel. *Dent Mater* 23 (2007) 900-904.
- [27] Kakaboura A., Rahiotis C., Watts D., Silikas N., Eliades G.: 3D-marginal adaptation versus setting shrinkage in light-cured microhybrid resin composite. *Dent Mater* 23 (2007) 272-278.
- [28] Mollica F., De Santis R., Ambrosio L., Nicolais L., Prisco D., Rengo S.: Mechanical and leakage behaviour of the dentin–adhesive interface. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 115(4) (2004) 485-92.
- [29] Garoushi S., Vallittu P.K., Lassila L.V.J.: Fracture toughness, compressive strength and load-bearing capacity of short glass fibre-reinforced composite resin. *The Chinese Journal of Dental Research* 14 (2011) 15-19.
- [30] Norman R.D., Wilson N.H.F.: Three-year findings of a multiclinical trial for a posterior composite. *J Prosthet Dent* 59 (1988) 577-583.
- [31] Garoushi S., Vallittu P.K., Lassila L.V.J.: Fracture resistance of short random oriented glass fibre reinforced composite premolar crowns. *Acta Biomater* 3 (2007) 779-784.
- [32] Tezvergil A., Lassila L.V., Vallittu P.K.: The effect of fibre orientation on the polymerization shrinkage strain of fibre-reinforced composites. *Dent Mater* 22 (2006) 610-616.
- [33] Williams J.G., Donnellan M.E., James M.R., Morris W.L.: Properties of the interphase in organic matrix composites. *Mat Sci Eng A-Struct* 126 (1990) 305.