

Influence of polymerization procedure on marginal leakage of composite resin restorations – an *in vitro* study

Wpływ procedury polimeryzacji na stopień szczelności brzeżnej wypełnień z materiałów złożonych – badania *in vitro*

Anastazja Żulawnik¹, Małgorzata Zielonka², Karolina Obroniecka²,
Dariusz Zasada³, Agnieszka Mielczarek²

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Chair of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw
Head: prof. dr hab. n. med. Elżbieta Mierzwińska-Nastalska

² Zakład Stomatologii Zachowawczej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Conservative Dentistry and Endodontics, Medical University of Warsaw
Head: dr hab. n. med. Agnieszka Mielczarek

³ Katedra Zaawansowanych Materiałów i Technologii, Wojskowa Akademia Techniczna
Chair of Advanced Materials and Technologies, Military University of Technology
Head: prof. dr hab. inż. Tomasz Czujko

KEY WORDS:

composite materials, polymerization shrinkage, polymerization lamps, bacterial microleakage

HASŁA INDEKSOWE:

materiały złożone, skurcz polimeryzacyjny, lampy polimeryzacyjne, mikropreciek bakteryjny

Summary

Introduction. Composite materials are currently most commonly used to reconstruct tooth tissues. During the polymerization, it results in marginal leakage between filling and hard dental tissues. Marginal leakage causes bacterial microleakage which leads to the discoloration of restoration margin and secondary caries. Intensive development of new technologies focus on elaborate processes decreasing the risk of microleakage appearance.

Aim. The purpose of this *in vitro* study was to estimate marginal leakage degree in composite restorations which were polymerized with different kinds of lamps.

Material and methods. 35 extracted human permanent molars were used in the study. Calibrated cavities on interproximal surfaces (class 2.2 acc. Mount and Hume classification) were prepared. Teeth were divided into 5 groups. Cavi-

Streszczenie

Wprowadzenie. Materiały złożone stosuje się obecnie najczęściej w celu rekonstrukcji tkanek zęba. Materiały te kurczą się jednak w czasie polimeryzacji, co powoduje tworzenie się szczeliny brzeżnej między wypełnieniem a tkankami twardymi zęba. Szczelina brzeżna jest przyczyną powstawania przebarwień na obwodzie wypełnienia, może zainicjować także zjawisko mikroprecieku bakteryjnego, prowadzącego do rozwoju próchnicy wtórnej. Intensywny rozwój nowoczesnych technologii skupia się na opracowaniu systemów i procedur zmniejszających ryzyko pojawienia się mikroprecieku.

Cel pracy. Celem badania była ocena szczelności brzeżnej wypełnień z materiałów złożonych naświetlanych różnymi rodzajami lamp polimeryzacyjnych.

Materiały i metody. Materiał badawczy stanowiło 35 usuniętych ludzkich zębów trzonowych, w

ties were filled with composite material according to the manufacturer's instructions using different kinds of polymerization lamps: halogen (floodlight) lamp, high intensity LED lamp and LED lamp with three working modes. Marginal leakage was evaluated by estimating a dye penetration and SEM images registration. Quantitative analysis of marginal gap was also performed.

Results. In samples analysis with optical microscope and stereo microscope the dye penetration and marginal gap was not observed. Only scanning electron microscope with back-scatter detector has revealed the marginal leakage. the largest marginal leakage was observed in case of high intensity led lamp – FlashMax (1.60 μm), and the smallest for LED lamp – pulse and increasing modes (0.96 μm and 0.98 μm , respectively). Marginal leakage was not observed in samples polymerized with continuous mode of LED lamp.

Conclusions. The results of this study suggest that the increase in light intensity of the polymerization lamp significantly shortens the exposure time, which is clinically advantageous, but excessive light intensity can cause severe systolic tensions leading to a marginal leakage.

których na powierzchniach stycznych preparowano standaryzowane ubytki klasy 2.2 wg Mounta i Hume'a. Ubytki wypełniano materiałem złożonym Filtek™, zgodnie z zaleceniami producenta, stosując różne rodzaje i tryby pracy lamp polimeryzacyjnych: halogenową, ledową o dużym natężeniu światła i ledową z trzema trybami pracy. Powstanie przecieku brzeżnego oceniano poprzez badanie penetracji barwnika i analizę obrazu uzyskanego z użyciem mikroskopu elektronowego.

Wyniki. W analizie próbek badanych za pomocą mikroskopu optycznego i stereoskopowego nie zaobserwowano szczeliny brzeżnej ani penetracji barwnika. Obserwacja z użyciem SEM ujawniła obecność szczeliny brzeżnej. Najwyższe wartości szczeliny brzeżnej stwierdzono w przypadku próbek naświetlanych lampą o dużym natężeniu – FlashMax (1,60 μm), a najniższe w przypadku lampy ledowej pracującej w trybie pulsacyjnym i rosnącym (odpowiednio 0,96 μm , 0,98 μm). Szczeliny brzeżnej nie zaobserwowano w próbkach naświetlanych lampą ledową, przy ciągłym trybie pracy.

Wnioski. Wyniki uzyskanych badań sugerują, że wzrost natężenia światła lampy polimeryzacyjnej znacznie skraca czas naświetlania, co jest korzystne z klinicznego punktu widzenia, jednak zbyt duża intensywność światła może wywołać silne napięcia skurczowe prowadzące do powstania szczeliny brzeżnej.

Introduction

One of the tasks of conservative dentistry is the hermetic reconstruction of dental hard tissues damaged in the course of various pathological processes taking place in the oral environment. The most commonly used materials for direct reconstruction of teeth are composite materials, which are increasingly accurate in simulating natural tooth tissues in terms of aesthetics and physico-chemical parameters. Unfortunately, these materials shrink during polymerization, resulting in the formation of gaps between the filling and the

Wprowadzenie

Jednym z zadań stomatologii zachowawczej jest szczelna odbudowa tkanek twardych zęba zniszczonych w przebiegu różnych procesów patologicznych toczących się w środowisku jamy ustnej. Najpowszechniej stosowanymi materiałami do bezpośredniej odbudowy zębów są materiały złożone, które coraz bardziej zbliżają się pod względem estetyki i parametrów fizyko-chemicznych do naturalnych tkanek zęba. Jednak materiały te kurczą się w czasie polimeryzacji, co powoduje tworzenie się szczelin brzeżnych pomiędzy wypełnieniem a zębem.

tooth. Composite materials consist of three components: organic – matrix, inorganic – filler and bonding agent. The organic phase contains resin and compounds which regulate the polymerization process: initiators and inhibitors.^{1,2} The shrinkage process occurs when the resin monomers connect into a spatial network responsible for the material structure.³⁻⁵ Marginal leakage is the cause of micro-leakage, especially bacterial, which leads to discolorations on the margin of the filling and, in the long-term, to the initiation of secondary caries. The intensive advancement of new technologies focuses on the development of systems and procedures that reduce the risk of bacterial microleakage.⁶

Aim of the study

The purpose of this *in vitro* study was to estimate the degree of marginal leakage in composite restorations, which were polymerized with different polymerization lamps. Three types of lamps were compared: a halogen lamp, a high intensity LED lamp and a LED lamp with three operating modes – continuous, increasing and pulse (Fig. 1).

Materials and methods

The research material consisted of 35 human molars removed due to various dental indications with full clinical crowns preserved and their enamel and dentine tissues undamaged. After extraction, the teeth were cleaned and placed in a physiological saline solution with the addition of thymol crystals. The teeth were randomly divided into five groups. Standard cavities on contact surfaces were prepared in *in vitro* conditions (Class 2.2 according to Mount and Hume classification) using a cylinder-shaped calibrated diamond drill (no. 837, standard grit type 120µm, Arendt) (Fig. 2). Then selective etching was performed with

W składzie materiałów złożonych wyróżnia się trzy fazy: organiczną – matrycę, nie-organiczną – wypełniacz i substancję wiążącą. Faza organiczna zawiera oprócz żywicy związki regulujące proces polimeryzacji: inicjatory i inhibitory.^{1,2} Zjawisko skurczu występuje podczas łączenia się monomerów żywicy w przestrzenną sieć odpowiedzialną za strukturę materiału.³⁻⁵ Szczelina brzeżna jest przyczyną mikroprzecieku, przede wszystkim bakteryjnego, co prowadzi do powstania przebarwień na obwodzie wypełnienia, a w dalszej perspektywie do inicjowania próchnicy wtórnej. Intensywny rozwój nowoczesnych technologii skupia się na opracowaniu systemów i procedur zmniejszających ryzyko powstania mikroprzecieku bakteryjnego.⁶

Cel pracy

Celem pracy była ocena szczelności brzeżnej wypełnień kompozytowych polimeryzowanych różnymi rodzajami lamp. Porównano trzy rodzaje lamp polimeryzacyjnych: halogenową, ledową o dużym natężeniu i ledową z trzema trybami pracy – ciągłym, rosnącym i pulsacyjnym (ryc. 1).

Materiał i metody

Materiał badawczy stanowiło 35 ludzkich zębów trzonowych usuniętych z różnych wskazań stomatologicznych, z zachowanymi pełnymi koronami klinicznymi, z nieuszkodzonymi tkankami szkliwa i zębiny. Po ekstrakcji zęby oczyszczono i umieszczono w roztworze fizjologicznym soli z dodatkiem kryształków tymolu. Zęby podzielono losowo na 5 grup badanych. W warunkach *in vitro* wypreparowano standardowe ubytki na powierzchniach stycznych (klasa 2.2 według klasyfikacji Mounta i Hume'a) za pomocą kalibrowanego wiertła diamentowego w kształcie walca (nr 837, nasyp standardowy 120µm, Arendt) (ryc. 2).



Fig. 1. Lamps used for the polymerization of composite material: LED lamp (A), FlashMax lamp (B), halogen lamp (C).
 Ryc. 1. Lampy użyte do polimeryzacji materiału złożonego: lampa ledowa (A), lampa FlashMax (B), lampa halogenowa (C).

32% phosphoric acid (Scotchbond Universal Etchant, 3M ESPE, Germany) for 15 seconds. After rinsing the etchant with water spray for 15 seconds and drying with a gentle stream of air, a one-component bonding system (Single Bond Universal, 3M ESPE, Germany) was applied for 20 seconds. It was spread with a gentle stream of air from air spray for 5 seconds and polymerized for 10 seconds with a halogen lamp (Cromalux E, Megadenta, Germany). All operations were carried out according to the recommendations of the manufacturer of the 3M ESPE bonding system (Fig. 3). The cavities were filled with the composite material, Filtek™ Ultimate DentineShade and Filtek™ Ultimate EnamelShade in two layers: 1.5 mm of dentine and 2 mm of enamel. The following lamps were used for the polymerization of the composite material: the halogen lamp – Cromalux E with a light intensity of 720 mW/cm², the LED Rainbow lamp (Coxo, China) with three modes: continuous, pulsing and increasing at 1550 mW/cm² and the LED lamp – FlashMaxP3 (CMS Dental, Denmark) with a high intensity of 3500 mW/cm² (Fig. 1).



Fig. 2. Prepared cavities of Class 2.2 according to Mount and Hume.

Ryc. 2. Wypreparowane ubytki klasy 2.2 wg Mounta i Hume'a.

Następnie przeprowadzono selektywne wytrawianie szkliwa 32-procentowym kwasem fosforowym (Scotchbond Universal Etchant, 3M

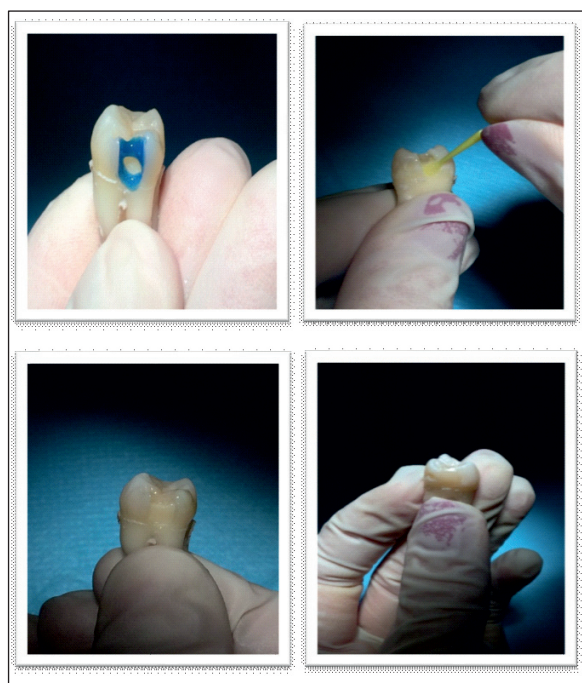


Fig. 3. Phases of preparation and filling of the cavities.

Ryc. 3. Poszczególne fazy przygotowania i wypełniania ubytków.

The lamps' intensities and accuracies were checked with a compatible photometer – ColtLuxLightMeter (Sonel, Germany) with the range of intensity measurements from 0 to 9999 mW/cm². The dentinal layer was cured once and the enamel layer twice from the occlusal and proximal surfaces, according to the manufacturer's instructions listed in the scheme (Table 1). The fillings were shaped and polished using Sof-Lex-type discs and polishing cups (Kerr, Switzerland). The root apices

ESPE, Niemcy) przez 15 sekund. Po wypłukaniu wytrawiacza sprayem wodnym przez 15 sekund i osuszeniu łagodnym strumieniem powietrza wcierano przez 20 sekund jednoskładnikowy system wiążący (Single Bond Universal, 3M ESPE, Niemcy). Rozprowadzono go delikatnym strumieniem powietrza z dmuchawki stomatologicznej przez 5 sekund i polimeryzowano przez 10 sekund lampą halogenową (Cromalux E, Megadenta, Niemcy). Wszystkie czynności przeprowadzono według zaleceń producenta systemu wiążącego 3M ESPE (ryc. 3). Ubytki wypełniono materiałem złożonym Filtek™ Ultimate DentineShade oraz Filtek™ Ultimate EnamelShade (3M ESPE) w dwóch warstwach: zębinowej o grubości 1,5 mm oraz szklawej o grubości 2 mm. Do polimeryzacji materiału złożonego użyto: lampy halogenowej – Cromalux E o natężeniu światła 720 mW/cm², lampy LED Rainbow (Coxo, Chiny) z trzema trybami pracy: ciągłym, pulsacyjnym i rosnącym o natężeniu 1550 mW/cm² oraz lampy LED – FlashMaxP3 (CMS Dental, Dania) o wysokim natężeniu 3500 mW/cm² (ryc. 1). Podane wartości natężeń i poprawność działania lamp sprawdzono za pomocą kompatybilnego fotometru – ColtLuxLightMeter (Sonel, Niemcy) o zakresie pomiarów natężeń od 0 do 9999 mW/cm². Warstwę zębinową naświetlano jednokrotnie, a szklawą dwukrotnie – od powierzchni żującej i apoksymalnej, zgodnie z zaleceniami producenta, według schematu (tab. 1). Wypełnienia opracowano i polerowano z użyciem krążków typu Sof-Lex i gumek

Table 1. Scheme of curing the composite material in individual research groups

	Halogen Lamp	LED Lamp continuous mode	LED Lamp pulse mode	LED Lamp increasing mode	FlashMax Lamp
Dentine Layer	40 s	20 s	20 s	20 s	1 s
Enamel Layer	2 x 20 s	2 x 10 s	2 x 10 s	2 x 10 s	2 x 3 s



Fig. 4. Results obtained after cutting the teeth.

Ryc. 4. Widok zgładów uzyskanych po przecięciu zębów.

of the teeth were protected with composite material. Dried teeth were covered with an acid-proof nail polish, leaving a 1-millimeter zone around the filling. The samples were placed in a 0.5% basic solution of fuchsin for 24 hours. After this time, the teeth were rinsed with running water, dried and cut in the sagittal plane with a diamond disc mounted on a slow-speed technical straight handpiece (Fig. 4). The obtained results were sanded with abrasive papers of varying granulation (600-4000), and then polished with a polycrystalline diamond with a diameter of 3 μm . The marginal gap was observed using an optical, stereoscopic and scanning electron microscope (SEM) Quanta 3D FEG with a magnification range of 10-400,000. The figures presented in the article show marginal gap images at 5000x magnification. Marginal leakage was assessed and recorded on SEM images (Fig. 5-9) by analysing the size of the marginal gap over the entire area of the analysed samples. Then, computer measurements were made for the height of each sample, and the greatest width was found.

(Kerr, Szwajcaria). Wierzchołki korzeni zębów zabezpieczono materiałem kompozytowym. Osuszone zęby pokryto kwasoodpornym lakierem do paznokci, z pozostawieniem około 1-milimetrowej strefy wokół wypełnienia. Próbkę umieszczono na 24 godziny w 0,5% roztworze fuksyny zasadowej. Po tym czasie zęby płukano pod bieżącą wodą, osuszano i cięto w płaszczyźnie strzałkowej tarczą diamentową zamontowaną na prostnicy technicznej (ryc. 4). Uzyskane zgłady szlifowano papierami ściernymi o zmieniającej się granulacji (600-4000), a następnie polerowano za pomocą diamentu polikrystalicznego o średnicy 3 μm . Szczelinę brzeżną poddano obserwacji, używając mikroskopu optycznego, stereoskopowego i skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) Quanta 3D FEG o zakresie powiększenia 10-400 000. Przedstawione w artykule ryciny prezentują obrazy szczelin brzeżnych w powiększeniu 5000x. Przeciek brzeżny oceniono i zarejestrowano na obrazach z SEM (ryc. 5-9) przez analizę wielkości szczeliny brzeżnej na

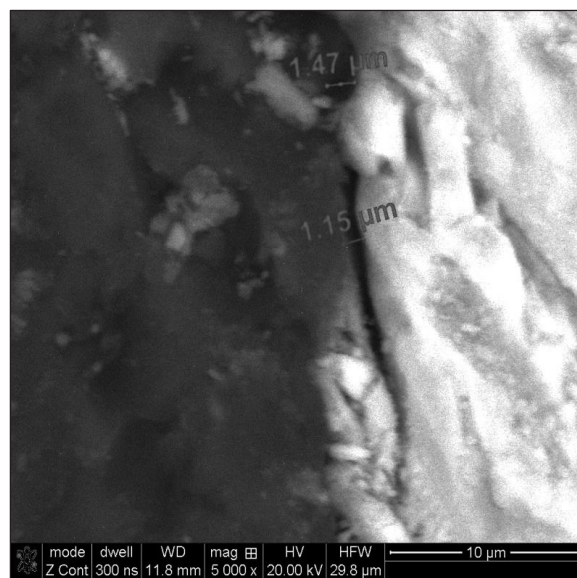


Fig. 5. Image of the marginal gap created after polymerization with the FlashMax lamp registered using the electron microscope at 5000x magnification.

Ryc. 5. Obraz szczeliny brzeżnej powstałej po polimerizacji lampą FlashMax zarejestrowany z użyciem mikroskopu elektronowego w powiększeniu 5000x.

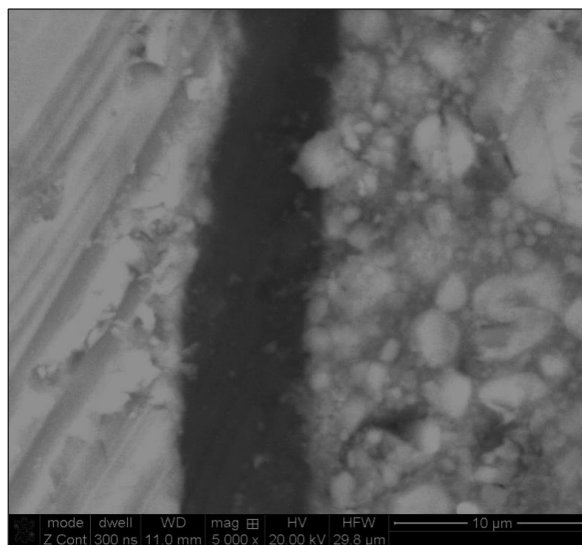


Fig. 6. Image of the border of the filling after polymerization with the LED lamp in continuous mode, recorded using an electron microscope at 5000x magnification. On the cross-section starting from the left the following are visible: dental hard tissue, bonding system layer, composite material. No marginal gap visible.

Ryc. 6. Obraz granicy wypełnienia po polimeryzacji lampą ledową w trybie ciągłym zarejestrowany z użyciem mikroskopu elektronowego w powiększeniu 5000x. Na przekroju widoczne od lewej: tkanki twarde zęba, warstwa systemu wiążącego, materiał złożony. Brak widocznej szczeliny brzeżnej.

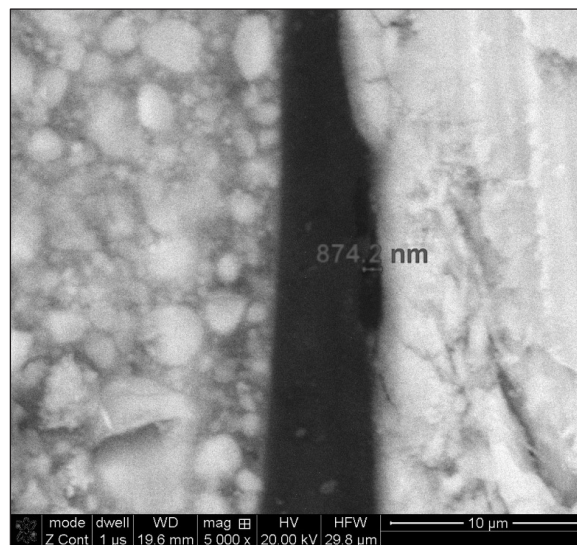


Fig. 7. Image of the marginal gap formed after polymerization with the LED lamp in pulse mode registered with the use of an electron microscope at 5000x magnification. On the cross-section starting from the left the following are visible: composite material, bonding system layer, marginal gap, dental hard tissue.

Ryc. 7. Obraz szczeliny brzeżnej powstałej po polimeryzacji lampą ledową w trybie pulsacyjnym zarejestrowany z użyciem mikroskopu elektronowego w powiększeniu 5000x. Na przekroju widoczne od lewej: materiał złożony, warstwa systemu wiążącego, szczelina brzeżna, tkanki twarde zęba.

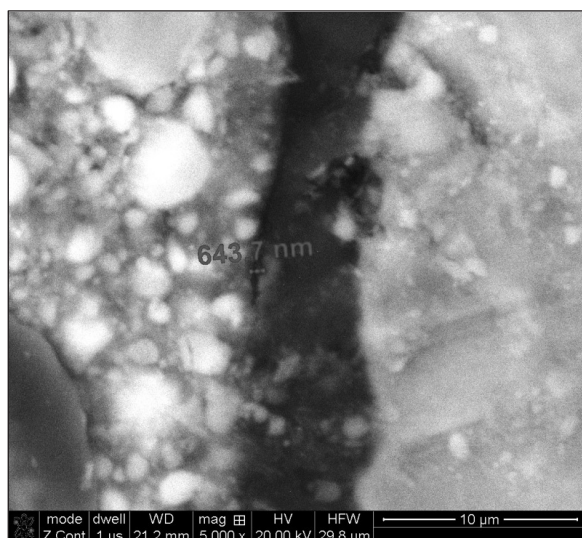


Fig. 8. Image of the marginal gap formed after polymerization with the LED lamp in the increasing mode registered with the use of an electron microscope at 5000x magnification. On the cross-section starting from the left the following are visible: composite material, marginal gap, bonding system layer, dental hard tissue.

Ryc. 8. Obraz szczeliny brzeżnej powstałej po polimeryzacji lampą ledową w trybie rosnącym zarejestrowany z użyciem mikroskopu elektronowego w powiększeniu 5000x. Na przekroju widoczne od lewej: materiał złożony, szczelina brzeżna, warstwa systemu wiążącego, tkanki twarde zęba.

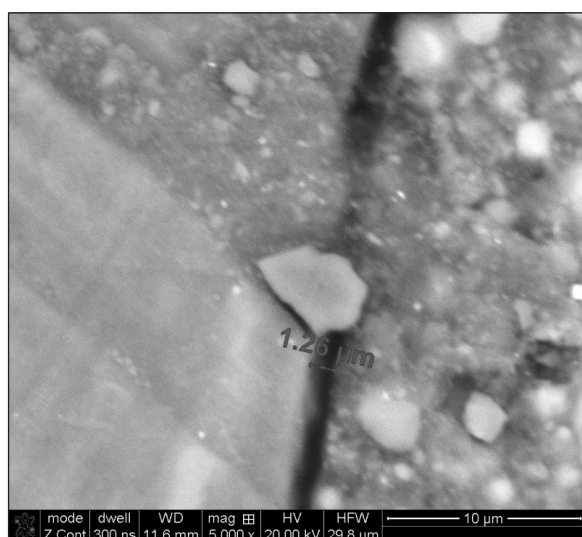


Fig. 9. Image of the marginal gap formed after polymerization with the halogen lamp registered using the electron microscope at 5000x magnification.

Ryc. 9. Obraz szczeliny brzeżnej powstałej po polimerizacji lampą halogenową zarejestrowany z użyciem mikroskopu elektronowego w powiększeniu 5000x.

Results

During the analysis of the samples examined by optical and stereoscopic microscopy, no marginal gap formation or dye penetration was observed. The studies conducted using SEM revealed the presence of a marginal gap between the composite filling and the tooth tissues. A comparison of the average values of the marginal gap width observed in individual research groups is presented in Table 2. The highest average value of the marginal gap was found in the case of a high intensity lamp – FlashMax (1.60 µm), and the smallest when using a LED lamp working in pulsating mode (0.96 µm) and increasing mode (0.98 µm). The marginal gap was not observed in samples cured with LED lamps in the continuous operation mode.

Discussion

The issue of polymerization shrinkage and the resulting marginal gap is of interest to many researchers.^{7,8} The occurrence of this

całym obszarze analizowanych próbek, następnie w każdej dokonano komputerowych pomiarów na wysokości, gdzie stwierdzono największą jej szerokość.

Wyniki

Podczas analizy próbek badanych za pomocą mikroskopu optycznego i stereoskopowego nie zaobserwowano powstania szczeliny brzeżnej ani zjawiska penetracji barwnika. Badania prowadzone z użyciem SEM ujawniły obecność szczeliny brzeżnej między wypełnieniem kompozytowym a tkankami zęba. Zestawienie średnich wartości szerokości szczeliny brzeżnej powstałej w poszczególnych grupach badawczych zaprezentowano w tabeli 2. Najwyższą średnią wartość szczeliny brzeżnej zaobserwowano w przypadku stosowania lampy o dużym natężeniu – FlashMax (1,60 µm), a najmniejszą w przypadku użycia lampy ledowej pracującej w trybie pulsacyjnym (0,96 µm) i rosnącym (0,98 µm). Szczeliny brzeżnej nie zaobserwowano w próbkach naświetlanych lampą ledową w ciągłym trybie pracy.

Dyskusja

Zagadnienie skurczu polimeryzacyjnego i powstającej w jego wyniku szczeliny brzeżnej stanowi przedmiot zainteresowań wielu badaczy.^{7,8} Powstawanie tego zjawiska determinują liczne czynniki, takie jak: typ monomeru, liczba i rodzaj cząsteczek wypełniacza, kolor materiału złożonego, grubość warstwy materiału, czas naświetlania, intensywność i głębokość penetracji światła, odległość światłowodu od wypełnienia oraz rodzaj i tryb pracy lampy polimeryzacyjnej.^{4,5,9,10}

Należy zwrócić uwagę na to, że podczas doświadczeń na izolowanych zębach usuniętych panują inne warunki naświetlania materiałów złożonych niż w jamie ustnej pacjenta. W prezentowanym doświadczeniu, w odróżnieniu od

Table 2. The comparison of mean values of the marginal gap width obtained in individual research groups (μm)

	Halogen Lamp (μm)	LED Lamp continuous mode (μm)	LED Lamp pulse mode (μm)	LED Lamp increasing mode (μm)	FlashMax Lamp (μm)
Sample 1	1.18	0	1	0.9	1.28
Sample 2	1.20	0	0.87	1.23	1.30
Sample 3	1.15	0	0.99	0.64	1.98
Sample 4	1.31	0	1.02	0.945	1.50
Sample 5	1.26	0	0.73	1.07	2.02
Sample 6	1.28	0	1.12	1.12	1.47
Sample 7	1.17	0	0.99	0.93	1.62
Average	1.22 (± 0.06)	0	0.96 (± 0.12)	0.98 (± 0.19)	1.60 (± 0.3)

phenomenon is determined by numerous factors such as: the monomer type, the number and type of filler particles, the colour of composite material, the thickness of the material layer, the exposure time, the intensity and depth of light penetration, the distance of the fiber optic to the filling, and the type and mode of operation of the polymerization lamp.^{4,5,9,10}

It should be noted that during experiments on isolated teeth there are different conditions for curing composite materials than in the patient's oral cavity. In the presented experiment, unlike the clinical conditions during the reconstruction of tooth tissues, the light of the polymerization lamp had full access to the tooth's interproximal surface. This could affect the size of the marginal gap. However, the authors' intention was to determine the differences between the degree of shrinkage in the different modes of light exposure, and not the objective value of the extent of the marginal gap.

In the discussed study, the only variable checked was the type and mode of operation of the polymerization lamp. From the clinical point of view, the use of polymerization lamps with

warunków klinicznych, podczas rekonstrukcji tkanek zęba uzyskiwano pełen dostęp światła lampy polimeryzacyjnej do powierzchni stycznej zębów. Mogło to mieć wpływ na wielkość szczeliny brzeżnej. Autorom chodziło jednak o określenie różnic między stopniem skurczu w różnych trybach naświetlania, a nie wartością obiektywną zakresu szczeliny brzeżnej.

W omawianym badaniu jedyną sprawdzaną zmienną był rodzaj i tryb pracy lampy polimeryzacyjnej. Z klinicznego punktu widzenia najkorzystniejsze wydawać by się mogło stosowanie lamp polimeryzacyjnych o dużym natężeniu światła ze względu na znaczne skrócenie czasu naświetlania.⁹⁻¹³ Powoduje to jednak powstanie największego skurczu polimeryzacyjnego i szczeliny brzeżnej, co stwarza największe ryzyko rozwoju próchnicy wtórnej.¹³ Uzyskane wyniki sugerują, że najwłaściwsze jest stosowanie lampy LED w trybie ciągłym, która warunkuje najlepszą adaptację brzeżną materiału złożonego.¹⁴ Han i wsp. nie wykazali istotnych statystycznie różnic w wartości skurczu polimeryzacyjnego dla trybów pracy lamp o natężeniu niskim, wysokim oraz dla trybu soft-start.

high light intensity would be most advantageous due to the significant reduction in the time of exposure.⁹⁻¹³ However, this produces the greatest polymerization shrinkage and a marginal gap, which creates the greatest risk of secondary caries.¹³ The obtained results suggest that the most appropriate is the use of LED lamps in the continuous mode, which determines the best marginal adaptation of the composite material.¹⁴ Han et al. did not show statistically significant differences in the polymerization shrinkage values for low, high intensity and soft-start intensity modes. However, the authors found clear differences between the hardness of cured materials.⁹ Dacic et al., compared the soft-start and the constant intensity mode (800 mW/cm²) and did not show clinically significant differences in marginal gap size, indicating a slightly better adaptation of marginal material during the soft-start mode exposure.¹⁵ Their observations were consistent with the results previously obtained by Mehl et al., who suggested that the use of the soft-start mode positively influenced the marginal integrity of the material with dental tissues.¹⁶ Luo et al. suggest that the type of tooth tissue etchant affects the marginal adaptation of the fillings. The authors showed that better marginal integrity of composite materials occurred after using the complete-etch enamel technique as compared to the action of the self-etching systems.¹⁷ Bociong et al. observed that the smallest shrinkage is generated in the crosslinked composite used in the conventional manner (continuous curing), while the largest shrinkage is seen when intermittent curing is applied. The observed phenomenon can be explained by a different course of the photopolymerization reactions and the spatial net formed by the hardened composite.¹⁸ Santos et al. showed that the light intensity of the polymerization lamp is positively correlated to the size of the polymerization shrinkage. The authors investigated the marginal integrity of Class V fillings made with composite materials.

Autorzy stwierdzili jednak wyraźne różnice między twardością naświetlanych materiałów.⁹ Dačić i wsp., porównując tryb soft-start i tryb o stałym natężeniu (800 mW/cm²), nie wykazali istotnych klinicznie różnic w wielkości szczeliny brzeżnej, wskazując na nieznacznie lepszą adaptację brzeżną materiału naświetlanego w trybie soft-start.¹⁵ Ich obserwacje były zgodne z uzyskanymi wcześniej wynikami badań Mehla i wsp., którzy sugerowali wpływ użycia trybu soft-start na lepszą brzeżną integralność materiału złożonego z tkankami zęba.¹⁶ Luo i wsp. sugerują, że rodzaj trawienia tkanek zęba ma wpływ na szczelność wypełnień. Autorzy wykazali lepszą szczelność brzeżną materiałów kompozytowych po zastosowaniu techniki całkowitego trawienia szkliwa w porównaniu z działaniem systemów samotrawiących.¹⁷ Bociong i wsp. zaobserwowali, że najmniejsze naprężenia skurczowe są generowane w kompozycie sieciowanym w sposób konwencjonalny (naświetlanie metodą ciągłą), największe natomiast w materiale naświetlanym w sposób przerywany. Obserwowane zjawisko można tłumaczyć różnym przebiegiem reakcji fotopolimeryzacji oraz tworzącą się siecią przestrzenną utwardzanego kompozytu.¹⁸ Santos i wsp. wykazali, że natężenie światła lampy polimeryzacyjnej jest dodatnio skorelowane z wielkością skurczu polimeryzacyjnego. Autorzy badali szczelność brzeżną wypełnień z materiałów złożonych klasy V. Nie zaobserwowali jednak istotnych różnic pomiędzy trybem pulsacyjnym, ciągłym i rosnącym lampy ledowej.¹⁹ W przeciwieństwie do uzyskanych w tej pracy wyników, Lopes i wsp. wykazali, że tryb pulsacyjny lampy LED generuje mniejszy skurcz polimeryzacyjny. Autorzy wykorzystali różnego rodzaju materiały złożone, naświetlając je zarówno lampą ledową, jak i halogenową.²⁰ Yazici i wsp., badając szczelność brzeżną kompozytów płynnych, nie zauważyli różnic pomiędzy użytymi lampami polimeryzacyjnymi. Wykazali jednak, że powstawanie

However, they did not observe any significant differences between the pulse, the continuous and the increasing modes of the LED lamp.¹⁹ In contrast to the results obtained in this work, *Lopes et al.* showed that the pulse mode of the LED lamp generates less polymerization shrinkage. The authors used a variety of composite materials, and curing them with both LED and halogen lamps.²⁰ *Yazici et al.*, when examining the marginal integrity of flowable composites, did not notice any differences between the effect of used polymerization lamps. However, they showed that the formation of the marginal gap depends to a large extent on the properties of the material.²¹ In his study, *Okoński* drew attention to the superiority of the LED lamp over the halogen lamp, which may be due to the fact that the length of emitted waves in the LED lamp is better adapted to the photo-initiators used in current composite materials.²² *Wichrowska* and *Sokołowski* in one of their publications observed a relationship between the quality of the surface of the fiber-optic tip and the value of the light intensity of the halogen polymerization lamp. The authors noted a directly proportional decrease in the light intensity of polymerization lamps depending on the degree of damage to the fiber tip. They also emphasized that with a light intensity that is too low, and so producing insufficient polymerization of the material, may contribute to the deterioration of marginal integrity of fillings and the occurrence of secondary tooth decay due to the lowering of its mechanical strength and greater susceptibility to degradation. Therefore, they recommend a systematic assessment of the light intensity of the polymerization lamps used, which, according to ISO standards, should not be lower than 300 mW/cm².²³ In turn, *Amaral et al.* in *in vitro* studies showed that the polymerization in the increasing mode causes the formation of smaller micro-leakage compared to the conventional polymerization method. In addition, the authors found that there are no

szczeliny brzeżnej zależy w dużym stopniu od właściwości materiału.²¹ *Okoński* w swojej pracy zwrócił uwagę na wyższość lampy ledowej nad lampą halogenową, co może wynikać z faktu, że długość emitowanych fal w lampie ledowej jest lepiej dostosowana do fotoinicjatorów stosowanych w obecnych materiałach złożonych.²² *Wichrowska* i *Sokołowski* w jednej ze swoich publikacji zaobserwowali zależność pomiędzy jakością powierzchni końcówki światłowodu a wartością natężenia światła halogenowej lampy polimeryzacyjnej. Autorzy odnotowali wprost proporcjonalny spadek natężenia światła lamp polimeryzacyjnych w zależności od stopnia uszkodzenia końcówki światłowodu. Podkreślili również fakt, że zbyt niskie natężenie światła, a zatem niedostateczna polimeryzacja materiału, z uwagi na obniżenie jego wytrzymałości mechanicznej i większą podatność na degradację może przyczynić się do pogorszenia szczelności brzeżnej wypełnień i wystąpienia wtórnej próchnicy zębów. Zalecają zatem systematyczną ocenę natężenia światła stosowanych lamp polimeryzacyjnych, które według standardów ISO nie powinno być niższe niż 300 mW/cm².²³ Z kolei *Amaral* i wsp. w badaniach *in vitro* wykazali, że polimeryzacja w trybie rosnącym powoduje powstawanie mniejszego mikroprzecieku w porównaniu z konwencjonalnym sposobem polimeryzacji. Dodatkowo autorzy stwierdzili, że nie ma znaczących różnic w powstawaniu mikroprzecieku, gdy porówna się tzw. miękki start i konwencjonalny sposób polimeryzacji.²⁴ *Nakfoor* i wsp. nie zaobserwowali znaczącej różnicy w wielkości skurczu polimeryzacyjnego powstającego po użyciu lampy ledowej i halogenowej.²⁵ Ich obserwacje były zgodne z wynikami badań, które uzyskali *Micali* i *Basting*.⁵ *Soares* i wsp. oceniali wpływ trybu i czasu polimeryzacji systemu adhezyjnego na powstawanie mikroprzecieku bakteryjnego w wypełnieniach kompozytowych. Wynikiem ich pracy była konkluzja, że czas i tryb polimeryzacji

significant differences in the formation of micro-leakage when comparing the so-called soft-start and the conventional polymerization.²⁴ Nakfoor et al. did not observe a significant difference in the amount of polymerization shrinkage that is generated after LED and halogen lamps are used.²⁵ Their observations were consistent with the results of the studies obtained by Micali and Basting.⁵ Soares et al. evaluated the effect of time and mode of polymerization of the adhesive system on the formation of bacterial micro-leakage in composite fillings. They concluded that the time and mode of polymerization of the bonding system does not have a significant impact on marginal gap formation in composite material fillings.²⁶

The results of the presented study indicate the relationship between the light intensity of the polymerization lamp and the width of the emerging marginal gap. The said space was observed in samples cured with the use of a halogen lamp, a LED lamp in increasing and pulse mode and a FlashMax lamp. In clinical conditions this could lead to bacterial micro-leakage and result in the occurrence of secondary caries. The marginal gap was not observed in samples cured with the LED lamp in the continuous operation mode.

The lack of an explicit stance of numerous authors regarding the studied area may suggest the existence of many additional factors other than the type of lamp used and the mode of exposure affecting the size of polymerization shrinkage. Objectively referencing the obtained results to the work of other authors may be problematic due to differences in the composite materials used, bonding factors, stratification techniques and the location of caries.

The conducted research requires the continuation, development and broadening of the research samples' range, and should only be treated as a trial. Due to the clinical significance of the marginal gap appearance during polymerization of composite materials,

systemu wiążącego nie ma znaczącego wpływu na powstawanie szczeliny brzeżnej w wypełnieniach z materiałów złożonych.²⁶

Wyniki prezentowanego badania wskazują na zależność między natężeniem światła lampy polimeryzacyjnej i szerokością powstającej szczeliny brzeżnej. Wspomnianą przestrzeń zaobserwowano w próbkach naświetlanych z użyciem lampy halogenowej, lampy LED w trybie rosnącym i pulsacyjnym oraz lampy FlashMax. W warunkach klinicznych mogłoby to doprowadzić do powstania mikroprzecieku bakteryjnego i skutkować pojawieniem się próchnicy wtórnej. Szczeliny brzeżnej nie zaobserwowano w próbkach naświetlanych lampą LED w ciągłym trybie pracy.

Brak jednoznacznego stanowiska licznych autorów, dotyczącego badanego obszaru może sugerować istnienie wielu dodatkowych czynników wpływających na wielkość skurczu polimeryzacyjnego, innych niż rodzaj stosowanej lampy i tryb naświetlania. Obiektywne odniesienie osiągniętych wyników do prac innych autorów może być problematyczne ze względu na różnice w stosowanych materiałach złożonych, czynnikach wiążących, technikach stratyfikacji i lokalizacji ubytków.

Przeprowadzone badania wymagają kontynuacji, rozwinięcia i poszerzenia próby badawczej. Powinny być traktowane jedynie pilotażowo. Ze względu na wartość kliniczną problemu występowania szczeliny brzeżnej podczas polimeryzacji materiałów złożonych zagadnienie to wciąż stanowi wartościowy obszar badawczy, wymagający eksploracji.

Wnioski

Prowadzone od lat poszukiwania rozwiązań służących optymalizacji szczelności i trwałości wypełnień są tematem wielu publikacji. Współcześnie, w dobie rozwoju technologicznego, poszukuje się nowych procedur, które mają za zadanie zminimalizować skurcz

this issue is still a valuable research area that requires further exploration.

Conclusions

The search for solutions aimed at optimizing the integrity and durability of fillings has been conducted for years and is the subject of many publications. Currently, in the age of technological development, new procedures are being sought to minimize polymerization shrinkage and to shorten the effective working time. However, the quoted examples and the results of the cited studies show that achieving both of these benefits at the same time is not possible. Although in the professional literature there is no definite consensus in this field, based on this study's results and those of many other authors, it can be concluded that the LED lamp remains the gold standard in the polymerization of composite materials.

polimeryzacyjny i skrócić efektywny czas pracy. Przytoczone przykłady i wyniki cytowanych badań pokazują jednak, że jednoczesne osiągnięcie obu tych korzyści nie jest obecnie możliwe. Chociaż w literaturze fachowej brak jest jednoznacznie określonej koncepcji w tym zakresie, to – bazując na wynikach badań własnych i wielu innych autorów – można uznać, że złotym standardem w polimeryzacji materiałów złożonych pozostaje lampa ledowa.

References / Piśmiennictwo

1. *Dudzik K, Iwanicka-Grzegorek E*: Lampy polimeryzacyjne stosowane w stomatologii – rodzaje, zastosowanie i mechanizm polimeryzacji. *Nowa Stomatol* 2009; 4: 122-127.
2. *Pacyk A, Sokołowski J, Pawlicka H i wsp.*: Współczesne modyfikacje składu fazy organicznej materiałów złożonych, a zjawisko skurczu polimeryzacyjnego. *E-Dentico* 2006; 9: 56-63.
3. *Bociong K, Sokołowski J, Rylska D*: Wpływ czasu i warunków polimeryzacji na właściwości kompozytów dentystycznych. *Inżynieria Mat* 2013; 5: 430-433.
4. *Hayashi J, Shimada Y, Tagami J i wsp.*: Real-Time Imaging of Gap Progress during and after Composite Polymerization. *J Dent Res* 2017; 96: 992-998.
5. *Micali B, Basting RT*: Effectiveness of composite resin polymerization using light-emitting diodes (LEDs) or halogen-based light-curing units. *Braz Oral Res* 2004; 18: 266-270.
6. *Lee S, Kim T, Son S*: Influence of light-curing units on the polymerization of low-shrinkage composite resins. *Dent Mat J* 2013; 32: 5: 688-694.
7. *de Jong LC, Opdam NJ, Bronkhorst EM i wsp.*: The effectiveness of different polymerization protocols for class II composite resin restorations. *J Dent* 2007; 35: 6: 13-20.
8. *Yap AU, Soh MS, Siow KS*: Effectiveness of composite cure with pulse activation and soft-start polymerization. *Oper Dent* 2002; 27: 1: 44-49.
9. *Han B, Dong YM, Wang XY i wsp.*: Effect of light-curing modes on the polymerization shrinkage and surface hardness of composite resins. *Beijing Da Xue Xue Bao* 2011; 43: 5: 770-773.

10. Jańczuk Z, Kaczmarek U, Lipski M: Stomatologia zachowawcza z endodoncją. Rozdz. 4. Wyd. Lek. PZWL, 2015; 56-59.
 11. Lombardini M, Chiesa M, Scribante A i wsp.: Influence of polymerization time and depth of cure of resin composites determined by Vickers hardness. *Dent Res J (Isfahan)*, 2012; 9: 6: 735-740.
 12. Micali B: Effectiveness of composite resin polymerization using lightemitting diodes (LEDs) or halogen-based light-curing units. *Restorative Dent* 2004; 4: 266-270.
 13. Yoon TH, Lee YK, Lim BS i wsp.: Degree of polymerization of resin composites by different light sources. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 1165-1173.
 14. Lee S, Kim T: Influence of light-curing units on the polymerization of low-shrinkage composite resins. *Dent Mat J* 2013; 5: 688-694.
 15. Dačić S, Mitic A, Nikolic M i wsp.: Effect of polymerization technique on marginal index of composite fillings in dentin. *Acta Facultatis Medicae Naissensis* 2016; 33: 2: 127-134.
 16. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH: Physical properties and gap formation of light cured composites with and without soft start polymerization. *J Dent* 1997; 25: 3-4, 321-330.
 17. Luo Y, Tay FR, Lo EC i wsp.: Marginal adaptation of a new compomer under different-conditioning methods. *J Dent* 2000; 28: 7: 495-500.
 18. Bociong K, Krasowski M, Domarecka M i wsp.: Wpływ metody fotopolimeryzacji kompozytów stomatologicznych na bazie żywicy dimetakrylanowych na naprężenia skurczowe oraz wybrane właściwości utwardzonego materiału. *Polimery* 2016; 7-8: 499-508.
 19. Santos C, Da Silva M, Santos G: Influence of light intensity and curing cycle on microleakage of Class V composite resin restorations. *J Appl Oral Sci* 2005; 5: 132-138.
 20. Lopes LG, Franco Eb, Pereira JC i wsp.: Effect of light-curing units and activation mode on polymerization shrinkage and shrinkage stress of composite resins. *J Appl Oral Sci* 2008; 16: 1: 35-42.
 21. Yazici AR, Celik C, Dayangac B i wsp.: Effects of different light curing units/modes on the microleakage of flowable composite resins. *Eur J Dent* 2008; 2: 240-246.
 22. Okoński P: Polimeryzacja światłoutwardzalnych materiałów kompozycyjnych – przegląd piśmiennictwa. *Nowa Stomatol* 2000; 4: 18-21.
 23. Wichrowska K, Sokołowski J: Wpływ jakości powierzchni końcówki światłowodu na wartość natężenia światła halogenowej lampy polimeryzacyjnej. *Dent Med Probl* 201; 47: 309-313.
 24. Amaral CM: Influence of resin composite polymerization techniques on microleakage and microhardness. *Quintessence Int* 2002; 33: 9: 685-689.
 25. Nakfoor B, Yaman P: Effect of a light-emitting diode on composite polymerization shrinkage and hardness. *J Esthet Restor Dent* 2005; 2: 110-117.
 26. Soares GP, Silva GG, Ambrosano GM i wsp.: Effect of polymerization mode and time of adhesive system on microleakage in composite resin restorations. *J Investig Clin Dent* 2014; 5: 4: 289-294.
- Zaakceptowano do druku: 26.07.2018 r.
Adres autorów: 02-005 Warszawa, ul. Nowogrodzka 59.
© Zarząd Główny PTS 20018.