

PAULINA ŁAGODZIŃSKA^{1, A-D, F}, KINGA BOCIONG^{2, B-D, F}, BEATA DEJAK^{1, A, E-F}

Wpływ składu primerów na wytrzymałość połączenia tlenku cyrkonu z cementami kompozytowymi

Influence of Primers' Chemical Composition on Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia Ceramic

¹ Zakład Protetyki Stomatologicznej Katedry Stomatologii Odtwórczej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Łódź, Polska

² Uczelniane Laboratorium Badań Materiałowych, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Łódź, Polska

A – koncepcja i projekt badania; B – gromadzenie i/lub zestawianie danych; C – analiza i interpretacja danych; D – napisanie artykułu; E – krytyczne zrecenzowanie artykułu; F – zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu; G – inne

Streszczenie

Wprowadzenie. Cementy kompozytowe pozwalają uzyskać wytrzymałe połączenie uzupełnień wykonanych z tlenku cyrkonu z tkankami zęba. Użycie primerów o odpowiednim składzie chemicznym jest niezbędne do przygotowania powierzchni tlenku cyrkonu przed cementowaniem.

Cel pracy. Celem pracy była ocena wpływu zastosowanego primeru w odniesieniu do jego składu chemicznego na wytrzymałość połączenia 3Y-TZP/cementy kompozytowe.

Materiał i metody. 132 próbki tlenku cyrkonu podzielono losowo na 4 grupy. Zastosowano 4 systemy primer/cement kompozytowy: Clearfil Ceramic Primer/Panavia F 2.0, Monobond Plus/Multilink Automix, AZ – Primer/ResiCem, Z – Prime Plus/Duo-Link. Powierzchnię próbek w poszczególnych grupach przygotowano za pomocą odpowiednich primerów, a następnie nakładano cementy kompozytowe w formie o kształcie walca o wymiarach 3,0 × 3,0 mm. Próbkę poddano testowi ścinania, po którym przeprowadzono analizę powierzchni próbek w celu oceny charakteru zerwanego połączenia – w lupach (powiększenie ×2,5) oraz losowo wybrane próbki w mikroskopie elektronowym. Wyniki w grupach porównano za pomocą testu Wilcoxona (poziom istotności $\alpha = 0,05$). Przeanalizowano znany skład chemiczny poszczególnych primerów w odniesieniu do wiązań chemicznych zachodzących między primerami a tlenkiem cyrkonu.

Wyniki. Średnia wartość wytrzymałości na ścinanie połączenia między cementami kompozytowymi a powierzchnią tlenku cyrkonu osiągnęła najwyższy wynik w grupie 4 „Duo-Link” ($8,24 \pm 3,21$ MPa), a najniższy w grupie 1 „Panavia” ($4,60 \pm 2,21$ MPa). Różnice istotne statystycznie występują między wszystkimi grupami oprócz pary „Panavia” i „ResiCem”, między nimi nie ma znaczących różnic. Przerwane połączenie w grupie 1 „Panavia” i 3 „ResiCem” ma charakter głównie adhezyjny, natomiast w grupie 2 „Multilink” i 4 „Duo-Link” głównie charakter mieszany. Związki chemiczne zawarte w primerach odpowiadają za różne rodzaje wiązań z tlenkiem cyrkonu.

Wnioski. Najsilniejsze połączenie z tlenkiem cyrkonu uzyskuje się z systemem primer/cement kompozytowy, w którym w skład primeru wchodzi monomer MDP – diwodorofosforan(V) 10-metakryloilo-ksydecylu oraz monomer karboksylowy – dimetakrylan bifenylu (BPDm) (Polim. Med. 2014, 44, 1, 13–20).

Słowa kluczowe: tlenek cyrkonu, primer, cement kompozytowy, test ścinania.

Abstract

Background. Resin cements establish a strong durable bond between zirconia ceramic and hard tissues of teeth. It is essential to use primers with proper chemical composition before cementation.

Objectives. The aim of this study was to assess the influence of primer's chemical composition on the shear bond strength of zirconia ceramic to resin cements.

Material and Methods. 132 zirconia specimens were randomly assigned to four groups. There were four resin systems used. They included resin cement and respective primer, dedicated to zirconia: Clearfil Ceramic Primer/Panavia F2.0, Monobond Plus/Multilink Automix, AZ – Primer/ResiCem, Z – Prime Plus/Duo-Link. In each group the protocol of cementation was as

follows: application of primer to the zirconia surface and application of the respective resin cement in cylindric mold (dimensions: 3.0 mm height and 3.0 mm diameter). Then, the shear bond strength was evaluated and the failure type was assessed in lupes ($\times 2.5$ magnification), also random specimens under SEM. The Wilcoxon test was used to analyze the data, the level of significance was $\alpha = 0.05$. Finally, the known chemical composition of each primer was analysed in reference to probable chemical bonds, which may occur between primers and zirconia.

Results. The mean shear bond strength between resin cements and zirconia was the highest for Z-Prime Plus/Duo-Link (8.24 ± 3.21 MPa) and lowest for Clearfil Ceramic Primer/Panavia F 2.0 (4.60 ± 2.21 MPa). The analysis revealed significant difference between all groups, except pair Clearfil Ceramic Primer/Panavia F 2.0 and AZ-Primer/ResiCem. The failure type in groups of Clearfil Ceramic Primer/Panavia F 2.0 and AZ-Primer/ResiCem was mainly adhesive, in groups Monobond Plus/Multilink Automix and Z-Prime Plus/Duo-Link mainly mixed. The chemical composition of primers affects different bond mechanisms between resin cements and zirconia.

Conclusions. The highest shear bond strength of resin cement to zirconia can be obtained for the primer composed of 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP) and carboxylic monomer – Biphenyl dimethacrylate (BPDM) (Polim. Med. 2014, 44, 1, 13–20).

Key words: zirconia, primer, resin cement, shear bond strength.

Tlenek cyrkonu charakteryzuje się biogodnością i nie wykazuje działania kancerogennego ani mutagennego [1]. Dzięki takim właściwościom znalazł zastosowanie w medycynie – od lat 80. XX w. wykorzystywano go w ortopedii do wykonawstwa endoprotez stawu biodrowego [2], a w latach 90. XX w. zaczęto stosować go w stomatologii. Ze względu na dobre właściwości mechaniczne i fizykochemiczne oraz zadowalającą estetykę uzupełnień zbudowanych z tlenku cyrkonu (najczęściej wykonane z 3Y-TZP – tlenku cyrkonu w postaci tetragonalnej, stabilizowanej 3 mol% itru) obecnie jest powszechnie stosowany w stomatologii, głównie w protetyce stomatologicznej, zwłaszcza jako materiał na podbudowę uzupełnień licowanych ceramiką [3, 4].

Pięcioletnie obserwacje kliniczne wskazują, że trwałość uzupełnień na bazie tlenku cyrkonu sięga 73,9–100% [5, 6, 7]. Problemy spotykane podczas użytkowania tych uzupełnień dotyczą zwłaszcza złamań podbudowy, odłamań ceramiki licującej, występowania próchnicy wtórnej, a także utraty retencji spowodowanej niewłaściwym oszlifowaniem zęba lub odcementowaniem [8, 9, 10]. Odcementowanie wynika z wyboru nieodpowiedniego cementu albo nieprawidłowego przygotowania powierzchni uzupełnienia przed cementowaniem.

Do cementowania uzupełnień zbudowanych z tlenku cyrkonu można zastosować zarówno cementy tradycyjne (cementy fosforanowe, polikarboksylowe, glassionomerowe i glassionomerowe modyfikowane żywicą), jak i cementy kompozytowe (tradycyjne, samotrawiące i samotrawiące samoadhezyjne). Cementy kompozytowe są w przypadku uzupełnień wykonanych z 3Y-TZP najkorzystniejszym wyborem – ich cechy, tj. szczelność, wytrzymałość połączenia, słaba rozpuszczalność w wodzie, dobre parametry mechaniczne, przewyższają właściwości cementów tradycyjnych [11–13]. Jednak połączenie tlenek cyrkonu/cement kompozytowy jest słabsze niż połączenie cementów kompozytowych z innymi rodzajami ceramiki i różni się sposobem wiązania. Wynika to z budowy tlenku cyrkonu – gęsta sieć kryształów, obojętność chemiczna, brak macierzy szkła-

nej [14]. W literaturze zaproponowano różne sposoby modyfikacji powierzchni tlenku cyrkonu przed cementowaniem, np. trawienie na gorąco (ang. *experimental hot etching solution*), SIE (ang. *selective infiltration etching technique*), użycie laserów (Er:YAG, Nd:YAG), piaskowanie węglikiem krzemu, zastosowanie primerów komercyjnych i eksperymentalnych itd. [15–20]. Nie wiadomo jednak, w jaki sposób metody te wpływają na strukturę i właściwości tego materiału w obserwacjach długoterminowych. Metodą prostą, łatwą w użyciu i jednocześnie najczęściej stosowaną jest piaskowanie tlenkiem glinu i użycie primera zawierającego związek 10-MDP [21–23].

Na rynku dostępne są 4 rodzaje systemów (primer + cement kompozytowy) dedykowanych powierzchni tlenku cyrkonu zawierających monomery fosforanowe, które wykazują powinowactwo do struktury chemicznej tlenku cyrkonu.

Wykazano jednak, że pominięcie piaskowania i użycie samego primera może skutkować słabszą wytrzymałością połączenia niż w przypadku próbek piaskowanych, a nawet może spowodować jego rozpad podczas testów termocyklicznych – większa podatność na hydrolizę [17, 24, 25]. W świetle badań równolegle prowadzonych przez autorów wytrzymałość tego połączenia jest rzeczywiście mniejsza niż po piaskowaniu. Piaskowanie tlenkiem glinu wzbudza jednak pewne kontrowersje. Obok korzyści, które powoduje, np. transformacja wzmacniająca [26–28] i polepszenie wytrzymałości połączenia [29, 30], wywiera ono również niekorzystny wpływ w postaci wzrostu zawartości fazy monoklinicznej, zniszczeń powierzchniowej struktury materiału, powstawania szczelin, mikropełnięć, obszarów plastycznej deformacji, wbijania atomów glinu w powierzchnię itd. [26, 31, 32].

W niektórych sytuacjach klinicznych można pominąć piaskowanie, np. gdy jest zapewniona dobra retencja uzupełnienia protetycznego wynikająca z prawidłowego opracowania zęba oraz odpowiednich proporcji oszlifowanego kikuta zębowego lub gdy istnieje obawa o nadmierne osłabienie struktury podbudowy z tlenku

cyrkonu przez piaskowanie itp. Należy sprawdzić, który z primerów dostępnych na rynku pozwoli uzyskać najlepszą wytrzymałość połączenia, samodzielnie, bez mikroretencyjnych zagłębień spowodowanych piaskowaniem.

Celem pracy była ocena wpływu zastosowanego primera w odniesieniu do jego składu chemicznego na wytrzymałość połączenia 3Y-TZP/cementy kompozytowe.

Materiał i metody

W badaniu wykorzystano 132 bloczki 3Y-TZP (Ceramill Zi; Amann Girrbach AG, Koblach, Austria) w kształcie prostopadłościanów o wymiarach $6,3 \times 6,3 \times 16$ mm. Poddano je synteryzacji (Ceramill Therm; Amann Girrbach AG, Koblach, Austria) – program uniwersalny (temperatura zwiększała się o $8^\circ/\text{min}$ w przedziale $200\text{--}1450^\circ$, 2 h w stałej temperaturze 1450° , następnie czas chłodzenia, cały proces trwał około 10 godzin). Po synteryzacji próbki osiągnęły wymiary $5 \times 5 \times 12,6$ mm (skurcz $\sim 21\%$). Powierzchnię próbek oczyszczono za pomocą bezoleistej pary wodnej.

Próbki podzielono losowo na 4 grupy, w każdej grupie użyto innego systemu, na które składały się primery przeznaczone do cementowania uzupełnień na bazie tlenku cyrkonu wraz z cementami kompozytowymi (tabela 1).

Na powierzchnię próbek nakładano odpowiedni primer zgodnie z instrukcją producenta. Następnie ręcznie kondensowano cement w teflonowej formie, polimeryzowano światłem (FlashMax P3; CMS Dental, Kopenhaga, Dania). Cement miał kształt walca o wymiarach 3,0 mm wysokości oraz 3,0 mm średnicy (ISO/TS 11 405:2003).

Próbki przechowywano w wodzie destylowanej (temperatura $37^\circ \pm 1^\circ\text{C}$) przez 24 godziny. Po tym czasie przeprowadzono test ścinania (ang. *SBS testing* – *Shear Bond Strength testing*) w Uniwersalnej Maszynie Testującej (Zwick/Roell Z005; Zwick GmbH & Co. KG, Ulm, Niemcy). Aby równomiernie rozłożyć naprężenia

w czasie działania siły, część ścinającą wyprofilowano w kształcie półkola, którego średnica i szerokość odpowiadały wymiarom walców cementu. Przemieszczała się ona z szybkością 1 mm/min aż do zerwania połączenia cement/tlenek cyrkonu. Uzyskano wyniki oznaczające wytrzymałość połączenia w MPa oraz w postaci wykresów obrazujących działanie siły.

Przeprowadzono ocenę charakteru zerwanego połączenia w powiększeniu $\times 2,5$ w lupach (Seliga Auctus; Seliga Microscopes Sp. z o. o., Łódź, Polska). W każdej grupie oceniono, dla jakiego procenta próbek przerwane połączenie miało charakter adhezyjny, kohezyjny lub mieszany. Losowo wybrane próbki oceniono także w skaningowym mikroskopie elektronowym (Scanning Electron Microscope S-4700; Hitachi High-Technologies Corporation, Tokio, Japonia). Uzyskane w wyniku obserwacji obrazy przedstawiono w pracy.

Wyniki przeanalizowano statystycznie – zastosowano test Wilcoxona (poziom istotności).

Wyniki

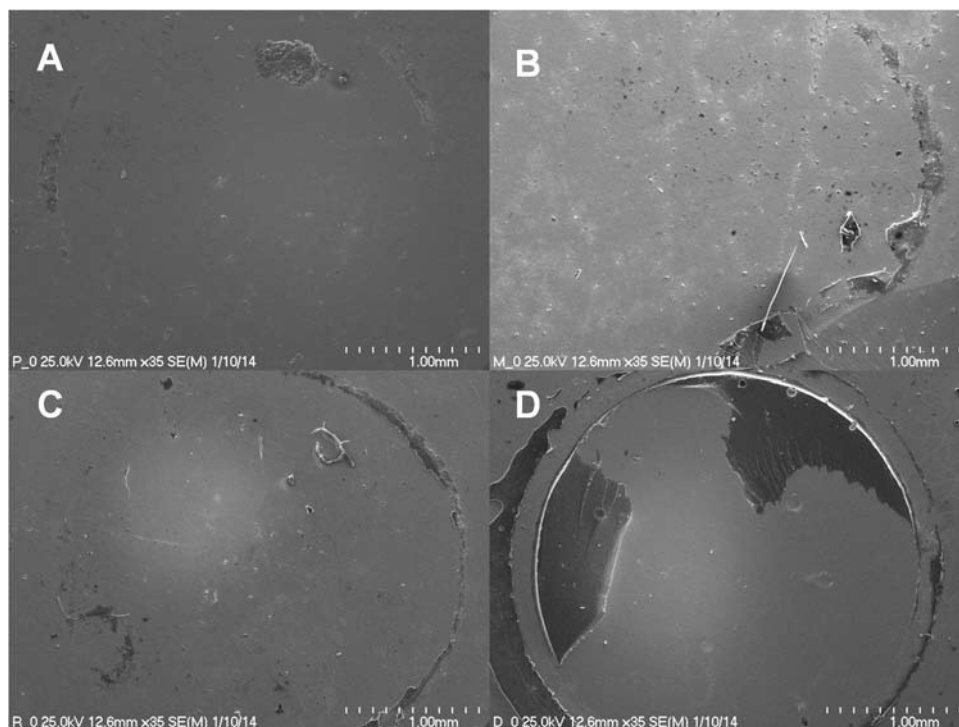
Średnia wartość wytrzymałości na ścinanie połączenia między cementami kompozytowymi a powierzchnią 3Y-TZP (po przygotowaniu chemicznym za pomocą odpowiednich primerów) osiągnęła najwyższy wynik w grupie 4 „Duo-Link” ($8,24 \pm 3,21$ MPa), a najniższy w grupie 1 „Panavia” ($4,60 \pm 2,21$ MPa). W grupie 2 „Multilink” uzyskano średnią wartość $6,31 \pm 2,79$ MPa, w grupie 3 „ResiCem” wynosiła ona $5,26 \pm 2,58$ MPa.

Badane grupy są grupami niezależnych obserwacji. Do ich porównania zastosowano nieparametryczny test Wilcoxona, gdyż są to zmienne o rozkładach ciągłych i nie ma informacji na temat rozkładów zmiennych. Na podstawie uzyskanych wyników testu wywnioskowano, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ istotne statystycznie różnice występują między grupami: „Panavia” – „Multilink”, „Panavia” – „Duo-Link”, „Multilink” – „ResiCem”, „Multilink” – „Duo-Link”, „ResiCem” – „Duo-Link”. Nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych tylko między grupami „Panavia” – „ResiCem”.

Tabela 1. Podział na grupy wraz z uwzględnieniem znanego składu chemicznego primerów

Table 1. Division into experimental groups – names, brands and chemical components of primers

Grupa	Primer	Cement kompozytowy	Firma	Skład primera
Grupa 1 „Panavia”	Clearfil Ceramic Primer	Panavia F 2.0	Kuraray Medical Inc., Sakazu, Kurashiki, Okayama, Japan	diwodorofosforan (V) 10-metakryloiloxydecylu (MDP), 3-metakryloksypropylotrim, etoksy-silan, etanol
Grupa 2 „Multilink”	Monobond Plus	Multilink Automix	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	fosforan metakrylanu, siarczki metakrylanu, karbofunkcyjne silany w roztworze alkoholowym
Grupa 3 „ResiCem”	AZ – Primer	ResiCem	Shofu Inc., Kyoto, Japan	monomer kwasu fosforowego, aceton
Grupa 4 „Duo-Link”	Z – Prime Plus	Duo-Link	Bisco Inc., Schaumburg, USA	dimetakrylan bifenylu (BP DM), hydroksyetyl metakrylanu, diwodorofosforan (V), 10-metakryloiloxydecylu (MDP), etanol



Ryc. 1. Obraz SEM przerwanego połączenia w czterech grupach: A – grupa 1 „Panavia”, B – grupa „Multilink”, C – grupa 3 „ResiCem”, D – grupa 4 „Duolink”

Fig. 1. Representative SEM images of the interfacial fracture patterns observed in experimental groups: A – Group 1 “Panavia”, B – Group 2 “Multilink”, C – Group 3 “ResiCem”, D – Group 4 “Duo-Link”

Tabela 2. Charakter zerwanego w teście ścinania połączenia między cementami kompozytowymi a tlenkiem cyrkonu w każdej z czterech grup (typ A określa połączenie o charakterze adhezyjnym, w którym przerwaniu podlega połączenie ściśle na granicy dwóch materiałów; typ K określa połączenie o charakterze kohezyjnym, w którym wytrzymałość połączenia dwóch materiałów jest na tyle duża, że przerwanie zachodzi w jednym z materiałów; typ M jest to typ mieszany, w którym połączenie charakteryzuje się komponentem adhezyjnym i kohezyjnym)

Table 1. Distribution of failure patterns in experimental groups (type A – adhesive failure between zirconia and cement; type K – cohesive failure within cement; type M – mixed failure, presenting both failure types, adhesive and cohesive)

Typ	Charakter zerwanego połączenia (%)			
	grupa 1 „Panavia”	grupa 2 „Multilink”	grupa 3 „ResiCem”	grupa 4 „Duo-Link”
A	81%	39%	72%	15%
M	19%	59%	28%	80%
K	0%	2%	0%	5%

Charakter zerwanego połączenia przedstawiono w tabeli 2 oraz na rycinie 1. Przerwane połączenie w grupie 1 „Panavia” i 3 „ResiCem” ma charakter głównie adhezyjny, natomiast w grupie 2 „Multilink” i 4 „Duo-Link” głównie mieszany. Wyniki te pokrywają się z wynikami w teście ścinania.

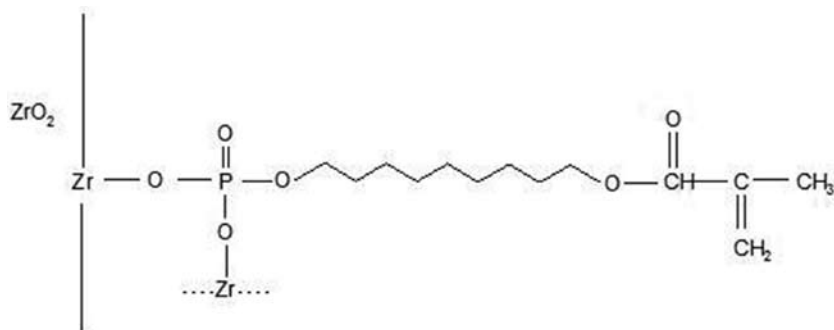
Na podstawie znanego składu chemicznego primerów przeprowadzono analizę wiązań chemicznych zachodzących między tlenkiem cyrkonu a poszczegól-

nymi primerami, aby ocenić, czy skład chemiczny przekłada się na wyniki uzyskane w testach wytrzymałościowych. Wyniki analiz przedstawiono w omówieniu.

Omówienie

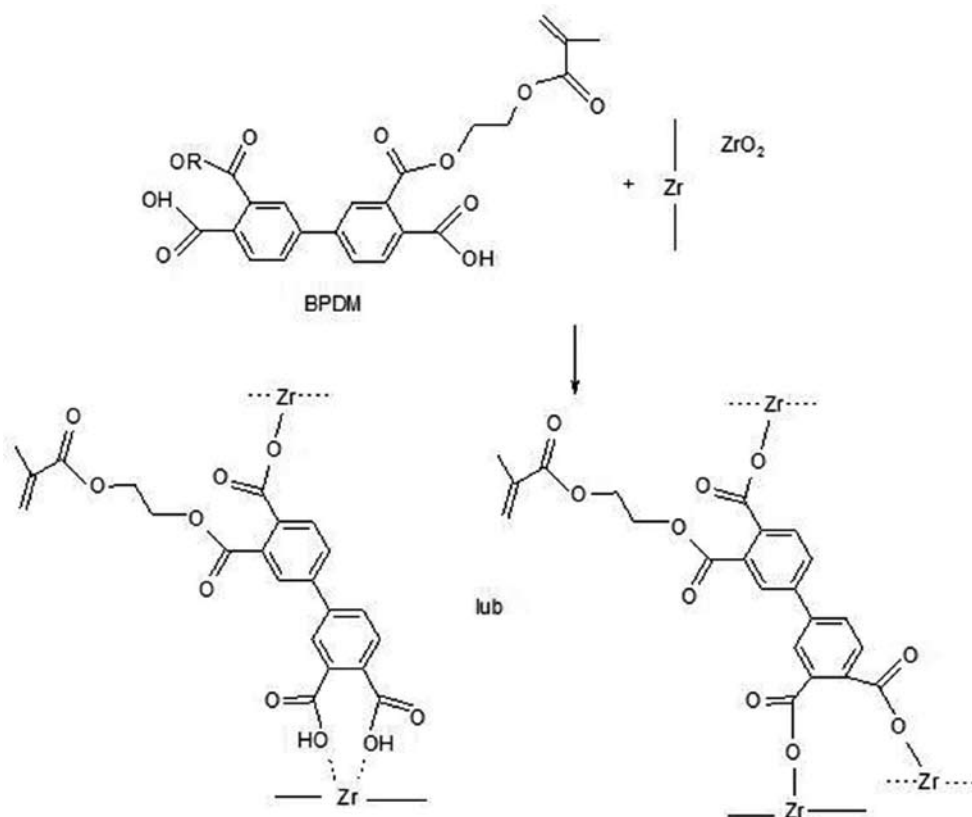
Uzyskane w badaniach własnych wyniki wskazują, że najwyższą średnią wartość wytrzymałości połączenia tlenek cyrkonu/cement kompozytowy uzyskano po zastosowaniu primeru Z – Prime Plus i cementu Duo-Link ($8,24 \pm 3,21$ MPa), dla tego systemu wykazano również istotne statystycznie różnice w porównaniu z pozostałymi badanymi systemami primer/cement. Uzasadnienia dla wyróżniającej się na tle innych cementów wytrzymałości tego połączenia szukano w odniesieniu do znanego składu chemicznego tego systemu. Analizę taką przeprowadzono także dla pozostałych systemów. Dotychczas nie odnaleziono w literaturze badań, w których oceniano wytrzymałość połączenia tlenek cyrkonu/cement kompozytowy, po zastosowaniu samego primeru komercyjnego, bez żadnej innej dodatkowej modyfikacji powierzchni tlenku cyrkonu (dostępne badania dotyczą primerów eksperymentalnych).

O wytrzymałości połączenia tlenku cyrkonu z układem primer/cement kompozytowy w przypadku braku dodatkowego przygotowania powierzchni decyduje zjawisko tzw. adhezji specyficznej, która powstaje dzięki wytworzeniu się na granicy zetknięcia dwóch ciał sił pierwotnych i wtórnych. Siły pierwotne to wysokoenergetyczne (100–600 kJ/mol) wiązania chemiczne – kowalencyjne, jonowe, polarne, apolarne. Niskoenergetyczne



Ryc. 2. Wiązania kowalencyjne powstałe w wyniku reakcji monomeru MDP z 3Y-TZP

Fig. 2. Covalent bond that occurs as a result of chemical reaction between monomer MDP and 3Y-TZP



Ryc. 3. Reakcje grup hydroksylowych związku BPDM z tlenkiem cyrkonu

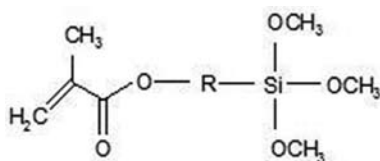
Fig. 3. Types of chemical bonding of hydroxyl groups of BPDM to zirconia dioxide

(do energii kilkunastu kJ/mol) wtórne siły zwane są inaczej oddziaływaniami międzycząsteczkowymi (siły Van der Waalsa). Do sił wtórnych zalicza się również wiązania wodorowe (12–33 kJ/mol). Im więcej oddziaływań chemicznych między tlenkiem cyrkonu a składnikami primera, tym silniejsze połączenie adhezyjne.

Największą wytrzymałość połączenia uzyskano w przypadku primera Z-Prime Plus, który w swoim składzie zawiera monomer MDP – diwodorofosforan(V) 10-metakryloilo-ksydecylu oraz monomer karboksylowy – dimetakrylan bifenylu (BPDM). Wynika to z tego, iż oba monomery wykazują powinowactwo

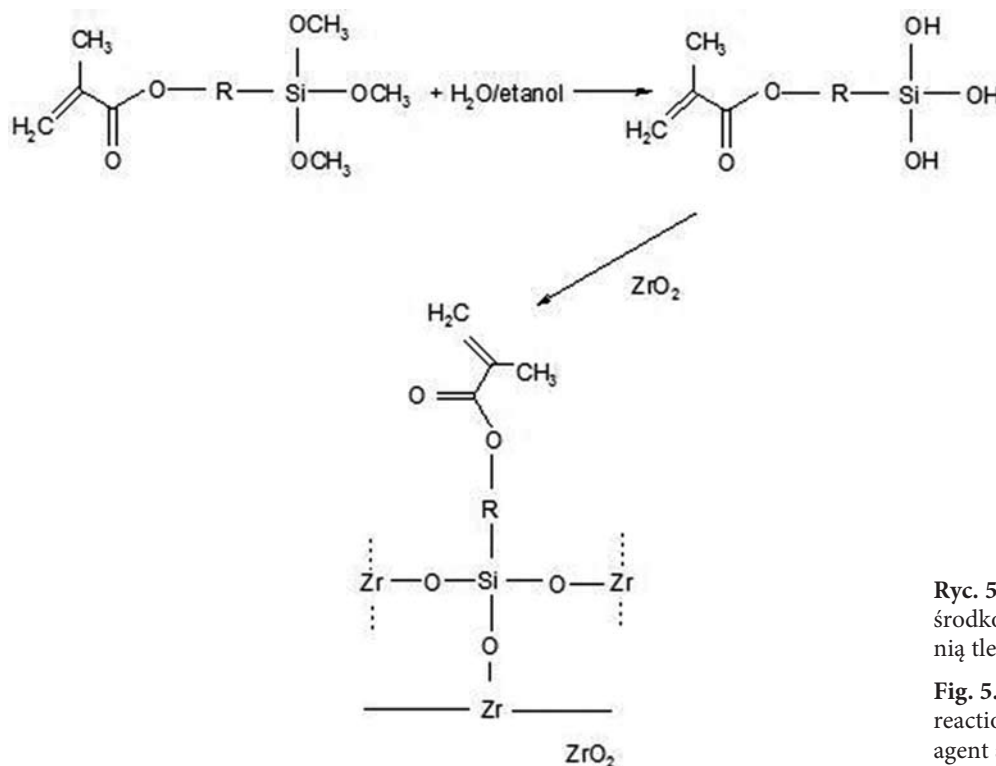
chemiczne do tlenku cyrkonu, przejawiające się zdolnością do reakcji chemicznych z tym nieorganicznym materiałem (ryc. 2–3). W przypadku kwaśnego monomeru MDP dwa miejsca są aktywne i zdolne do połączenia z ZrO₂. Biorąc pod uwagę budowę chemiczną monomeru BPDM, można przypuszczać, że w tym przypadku są również co najmniej dwa miejsca potencjalnie reaktywne w stosunku do materiału 3Y-TZP, stąd tak wyróżniająca się wytrzymałość połączenia.

Wprowadzenie primera Monobond Plus jako substancji sprzęgającej tlenek cyrkonu z cementem kompozytowym daje również bardzo dobre rezultaty.



Ryc. 4. Wzór strukturalny cząsteczki γ -metakryloksypropylo trimetoksylanu

Fig. 4. Chemical formula of the chemical compound γ -Methacryloxypropyl trimethoxy silane



Ryc. 5. Schemat reakcji silanowych środków sprzęgających z powierzchnią tlenku cyrkonu

Fig. 5. The scheme of the chemical reaction between the silane coupling agent and zirconia dioxide

Głównymi składnikami tego materiału są karbofunkcyjne silany, fosforan metakrylanu oraz siarczki metakrylanu. Karbofunkcyjne silany stosuje się powszechnie jako tzw. promotory adhezji, nazywane również silanowymi środkami sprzęgającymi. Dodaje się je bezpośrednio do kompozycji, najczęściej w postaci roztworów wodnych lub wodno-alkoholowych, z uwagi na potrzebę zmniejszenia ich napięcia powierzchniowego oraz konieczność przeprowadzenia hydrolizy grup alkoksylanowych do grup silanolowych Si-OH zdolnych do utworzenia wiązań chemicznych z nieorganicznymi materiałami. Najpopularniejsze dostępne w handlu γ -funkcyjne silany to związki o budowie $(\text{RO})_3\text{Si}(\text{CH}_2)_3\text{Y}$, w których podstawnikami alkoksylowymi są grupy metoksylowe lub etoksylowe, a organicznymi grupami funkcyjnymi Y – grupy aminowe $-\text{NH}_2$, glicydyloksylowe $-\text{O}-\text{CH}_2-(\text{CH}-\text{CH}_2\text{O})$ lub metakryloksylowe $-\text{O}-\text{CO}-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$. W przypadku zastosowań stomatologicznych jako systemy wiążące ceramikę z cementem stosuje się silany o budowie

przedstawionej na ryc. 4. Dodatkowo w primerze Monobond znajduje się metakrylan kwasu fosforowego, który również jest zdolny do generowania wiązań chemicznych z tlenkiem cyrkonu.

Zastosowanie samych silanowych związków sprzęgających nie jest skuteczne w przypadku połączenia z ZrO_2 , ponieważ ma on relatywnie niepolarną powierzchnię, jest bardziej stabilny chemicznie niż ceramika zawierająca krzemiany, a to oznacza również, że

nie ulega zbyt łatwo hydrolizie (ryc. 5). Dlatego w przypadku układu ZrO_2 –Clearfil Ceramic Primer/Cement: Panavia F 2.0 wytrzymałość połączenia osiąga najmniejszą wartość. Nieco mocniejsze połączenie obserwuje się podczas stosowania AZ-Primer, którego głównym składnikiem jest monomer kwasu fosforowego. Ma on dwa centra aktywne zdolne do reakcji z atomem Zr.

W przypadku koron o dobrej retencji mechanicznej oraz gdy można pominąć piaskowanie tlenku cyrkonu przed cementowaniem adhezyjnym użycie samego primera o odpowiednim składzie chemicznym pozwala uzyskać wytrzymałe połączenie.

Najsilniejsze połączenie z tlenkiem cyrkonu uzyskuje się z systemem primer/cement kompozytowy, w którym w skład primera wchodzi monomer MDP – diwodorofosforan(V) 10-metakryloilo-ksydecylu oraz monomer karboksylowy – dimetakrylan bifenylu (BPDM). Jego przykładem jest Z-prime Plus (i cement Duo-Link).

Piśmiennictwo

- [1] Covacci V., Bruzzese N., Maccauro G., Andreassi C., Ricci G.A., Piconi C. et al.: *In vitro* evaluation of the mutagenic and carcinogenic power of high purity zirconia ceramic. *Biomaterials* 1999, 20, 371–376.
- [2] Piconi C., Maccauro G.: Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999, 20, 1–25.
- [3] Zarone F., Russo S., Sorrentino R.: From porcelain – fused – to – metal to zirconia: Clinical and experimental considerations. *Dent. Mater.* 2011, 27, 83–96.
- [4] Lasek K., Okoński P., Mierzwińska-Nastalska E.: Tlenek cyrkonu – właściwości fizyczne i zastosowanie kliniczne. *Protet. Stomatol.* 2009, LIX, 415–22.
- [5] Molin M.K., Karlsson S.L.: Five-year clinical prospective evaluation of zirconia-based Denzir 3-unit FPDs. *Int. J. Prosthodont* 2008, 21, 223–227.
- [6] Nothdurft F.P., Rountree P.R., Pospiech P.R.: Clinical long-term behavior of Zirconia-based bridges (LAVA): Five years results. *J. Dent. Res.* 2006, 85(special issue C), 0312.
- [7] Sailer I., Fehér A., Filser F., Gauckler L.J., Lüthy H., Hammerle C.H.: Five year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int. J. Prosthodont.* 2007, 20, 383–388.
- [8] Roediger M., Gersdorff N., Huels A., Rinke S.: Prospective evaluation of zirconia posterior fixed partial dentures: four – year clinical results. *Int. J. Prosthodont.* 2010, 23, 141–148.
- [9] Beuer F., Edelhoff D., Gernet W., Sorensen J.A.: Three-year clinical prospective evaluation of zirconia-based posterior fixed dental prostheses (FDPs). *Clin. Oral Investig.* 2009, 13, 445–451.
- [10] Wolfart S., Kern M.: A new design for all-ceramic inlay-retained fixed partial dentures: a report of 2 cases. *Quintessence Int.* 2006, 37, 27–33.
- [11] Uo M., Sjogren G., Sundh A., Goto M., Watar F. et al.: Effect of surface condition of dental Zirconia ceramic (Denzir) on bonding. *Dent. Mater. J.* 2006, 25, 626–631.
- [12] Kim M.J., Kim Y.K., Kim K.H., Kwon T.Y.: Shear bond strengths of various luting cements to zirconia ceramic: Surface chemical aspects. *J. Dent.* 2011, 39, 795–803.
- [13] Yoshida K., Tsuo Y., Meng X., Atsuta M.: Mechanical properties of dual-cured resin luting agents for ceramic restoration. *J. Prosthodont.* 2007, 16(5), 370–376.
- [14] Fleming G.J.P., Addison O.: Adhesive cementation and the strengthening of all-ceramic dental restorations. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2009, 23, 945–959.
- [15] Aboushelib M.N., Kleverlaan C.J., Feilzer A.J.: Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J. Prosthet. Dent.* 2007, 98, 379–388.
- [16] Casucci A., Osorio E., Osorio R., Monticelli F., Toledano M., Mazzitelli C., Ferrari M.: Influence of different surface treatments on surface zirconia framework. *J. Dent.* 2009, 37, 891–897.
- [17] Aboushelib M.N., Mirmohamadi H., Matinlinna J.P., Kukk E., Ounsi H.F., Salameh Z.: Innovations in bonding to zirconia-based materials. Part II: Focusing on chemical interactions. *Dent. Mater.* 2009, 25, 989–993.
- [18] Aboushelib M.N., Matinlinna J.P., Salameh Z., Ounsi H.F.: Innovations in bonding to zirconia based materials: Part I. *Dent. Mater.* 2008, 24, 1268–1272.
- [19] Akin H., Tugut F., Akin G.E., Guney U., Mutaf B.: Effect of Er:YAG laser application on the shear bond strength and microleakage between resin cements and Y-TZP ceramics. *Lasers Med. Sci.* 2012, 27, 333–338.
- [20] Akin H., Ozkurt Z., Kirmali O., Kazazoglu E., Ozdemir A.K.: Shear bond strength of resin cement to Zirconia ceramic after aluminum oxide sandblasting and various laser treatments. *Photomed. Laser Surg.* 2011, 29, 797–802.
- [21] Blatz M.B., Sadan A., Martin J., Lang B.: *In vitro* evaluation of shear bond strengths of resin to densely sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J. Prosthet. Dent.* 2004, 91, 356–362.
- [22] Yoshida K., Tsuo Y., Atsuta M.: Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J. Biomed. Mater. Res. B: Appl. Biomater.* 2006, 77B, 28–33.
- [23] Blatz M.B., Chiche G., Holst S., Sadan A.: Influence of surface treatment and simulated aging on bond strengths of luting agents to zirconia. *Quintessence Int.* 2007, 8, 745–753.
- [24] Yang B., Barloi A., Kern M.: Influence of air – abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. *Dent. Mater.* 2010, 26, 44–50.
- [25] Tsuo Y., Yoshida K., Atsuta M.: Effects of alumina-blasting and adhesive primers on bonding between resin luting agent and zirconia ceramics. *J. Dent. Mater.* 2006, 25, 669–674.
- [26] Sato H., Yamadad K., Pezzotti G., Nawa M., Ban S.: Mechanical properties of dental zirconia ceramics changed with sandblasting and heat treatment. *J. Dent. Mater.* 2008, 27, 408–414.
- [27] Karakoca S., Yilmaz H.: Influence of surface treatments on surface roughness, phase transformation and biaxial flexural strength of Y-TZP ceramics. *J. Biomed. Mater. Res. Part B: Appl. Biomater.* 2009, 1B, 930–937.
- [28] Guazzato M., Quach L., Albakry M., Swain M.V.: Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J. Dent.* 2005, 33, 9–18.
- [29] Blatz M.B., Phark J-H, Ozer F., Mante F.K., Saleh N., Bergler M., Sadan A.: *In vitro* comparative bond strength of contemporary self-adhesive resin cements to zirconium oxide ceramic with and without air-particle abrasion. *Clin. Oral Invest.* 2010, 14, 187–192.
- [30] Gomes A.L., Castillo-Oyague R., Lynch Ch.D., Montero J., Albaladejo A.: Influence of sandblasting granulometry and resin cement composition on microtensile bond strength to zirconia ceramic for dental prosthetic Framework. *J. Dent.* 2013, 41, 31–41.

- [31] **Chintapalli R.K., Marro F.G., Jimenez-Pique E., Anglada M.:** Phase transformation and subsurface damage in 3Y-TZP after sandblasting. *Dent. Mater.* 2013, 29, 566–572.
- [32] **Hallmann L., Ulmer P., Reusser E., Hammerle C.H.F.:** Effect of blasting pressure, abrasive particle size and grade on phase transformation and morphological change of dental zirconia surface. *Surf. Coat. Technol.* 2012, 206, 4293–4302.

Adres do korespondencji:

Paulina Łagodzińska
Zakład Protetyki Stomatologicznej
Katedra Stomatologii Odtwórczej UM w Łodzi
Instytut Stomatologii
ul. Pomorska 251
92-213 Łódź
e-mail: paulina.lagodzinska@umed.lodz.pl
tel.: 42 675 74 50

Konflikt interesów: nie występuje.

Praca wpłynęła do Redakcji: 26.01.2014 r.

Po recenzji: 23.03.2014 r.

Zaakceptowano do druku: 25.03.2014 r.

Received: 26.01.2014

Revised: 23.03.2014

Accepted: 25.03.2014