

Bond strength of ceramic inlay with dental hard tissues depending on the type of adhesive system used – review of literature

Szczelność połączenia adhezyjnego ceramicznych wkładów koronowych z twardymi tkankami zęba w zależności od zastosowanego systemu łączącego – przegląd piśmiennictwa

Magdalena Rączkiewicz, Karolina Mazurek,
Elżbieta Mierzwińska-Nastalska

Katedra Protetyki Stomatologicznej, Wydział Lekarsko-Dentystyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Polska
Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Medical University of Warsaw, Poland
Head: prof. E. Mierzwińska-Nastalska

Abstract

Reconstruction of dental hard tissues with the use of inlays results in very good aesthetic and functional effects. Indirect prosthetic reconstruction in the form of an inlay requires preparation of the tooth structure to ensure retention and proper distribution of forces in the cavity. Adhesion of ceramic restorations to enamel and dentine is possible due to the incorporation of resin monomer into the hard tissues. This linkage can be provided by adhesive systems, which are divided according to the application technology used into etch-and-rinse and self-etch systems. The purpose of this literature review is to summarise the latest and the most reliable study results on the leakage of the adhesive connection of ceramics with dental hard tissues. Electronic research of the most relevant articles was conducted in English in the MEDLINE database with access via PubMed. Among the publications available in the MEDLINE database, those published in the years 2001-2016 were analyzed in order to select the most modern materials and methods. The search was based on the following keywords: adhesives, bonding, cements, ceramics, dental porcelain, inlay, microleakage, self-adhesive. All the analyzed articles present the description of in vitro study and relate to the comparison of etch-and-rinse and self-etching systems. Based on this analysis, it can be concluded that the most efficient bonding of hard tissues with the

Streszczenie

Rekonstrukcja twardych tkanek zębów z zastosowaniem wkładów koronowych pozwala na uzyskanie bardzo dobrych efektów estetycznych i funkcjonalnych. Wykonanie pośredniej odbudowy protetycznej w postaci wkładu koronowego wymaga opracowania tkanek twardych zęba zapewniającego retencję uzupełnienia oraz prawidłowy rozkład sił w ubytku. Adhezja uzupełnień ceramicznych do szkliwa i zębiny jest możliwa dzięki wbudowaniu monomerów żywicy łączącej w twarde tkanki zęba. Takie połączenie mogą zapewnić systemy adhezyjne, które dzieli się ze względu na technikę aplikacji na: systemy „wytraw i splucz” oraz systemy samoadhezyjne. Celem poniższego przeglądu piśmiennictwa jest podsumowanie najnowszych i najbardziej wiarygodnych wyników badań dotyczących szczelności połączenia adhezyjnego ceramiki z twardymi tkankami zęba. Elektroniczne wyszukiwanie najbardziej trafnych artykułów w języku angielskim zostało przeprowadzone w bazie MEDLINE z dostępem przez PubMed. Spośród artykułów udostępnionych w bazie MEDLINE do analizy wybrano teksty opublikowane w latach 2001-2016, w celu doboru najbardziej nowoczesnych materiałów i metod. Słowa kluczowe, na podstawie których wyszukiwano artykuły to: adhesives, bonding, cements, ceramics, dental porcelain, inlay, microleakage, selfadhesive. Wszystkie analizowane artykuły przedstawiają opis

KEYWORDS:

adhesives, dental cements, dental porcelain, ceramic inlay, microleakage

HASŁA INDEKSOWE:

materiały adhezyjne, cementy, porcelana, wkłady ceramiczne, mikroprzeciek

tooth can be achieved using etch-and-rinse systems. Self-adhesive systems preceded by the procedure of selective etching of enamel enable the achievement of a similar quality of the bonding obtained when using the etch-and-rinse systems. In addition, while using self-adhesive systems, special care should be taken not to overdry dentine during the cementation procedure. The type of ceramic does not affect the quality of the obtained bonding; moreover, processes of stimulated aging have no statistically significant effect on the formation of microleakage in *in vitro* studies.

Introduction

Reconstruction of dental hard tissues with the use of inlays produces very good aesthetic and functional effects.¹ Thanks to new technologies of production of dental ceramics and improvement of the quality of bonding systems, it has become possible to use inlays routinely.^{1,2}

Ceramic inlays can be produced both with glass-based ceramics and alumina trioxide ceramics, which gives great opportunities to select materials suitable for the clinical situation.^{2,3} The development of ceramic systems, especially CAD/CAM technology, allows creating functional restorations with very tight marginal bonding and aesthetics satisfying both the clinician and patient.¹⁻³ Based on studies of the quality of materials and bonding technologies it can be concluded that ceramic restorations cemented to the dental hard tissues have good mechanical properties, which are required to fulfil mechanical requirements during mastication.² Indirect prosthetic reconstruction in the form of an inlay requires the preparation of tooth structure to ensure proper retention and distribution of forces in the oral cavity. Such preparation may, however, result in post-operative sensitivity.¹ In addition, there is always the risk of microleakage during or after cementing the restoration.^{4,5}

These complications may arise during the clinical reconstruction using permanent ceramic

badań *in vitro* i dotyczą porównania systemów „wytraw i splucz” oraz systemów samotrawiących. Na podstawie przeprowadzonej analizy, można wnioskować, że najbardziej efektywne wiązanie twardych tkanek zęba można uzyskać stosując systemy „wytraw i splucz”. Systemy samoadhezyjne wraz z procedurą selektywnego trawienia szkliwa pozwalają uzyskać jakość połączenia tkanek twardych zęba z ceramiką zbliżoną do jakości połączenia uzyskiwanego podczas wykorzystywania systemów „wytraw i splucz”. Ponadto należy zwrócić szczególną uwagę, aby nie przesuszyć nadmiernie zębiny stosując systemy samotrawiące podczas wykonywania procedury cementowania. Rodzaj stosowanej ceramiki nie ma wpływu na jakość uzyskiwanego połączenia, a także procesy stymulowanego starzenia nie mają istotnego statystycznie wpływu na powstanie mikroprzecieku w warunkach *in vitro*.

Wstęp

Rekonstrukcja twardych tkanek zębów z zastosowaniem wkładów koronowych pozwala na uzyskanie bardzo dobrych efektów estetycznych i funkcjonalnych.¹ Stało się to możliwe dzięki nowym technologiom wytwarzania ceramiki oraz poprawie jakości wiązania adhezyjnego systemów łączących.^{1,2}

Ceramiczne wkłady koronowe mogą być wykonywane zarówno z ceramik na bazie szkła, jak i z ceramik tlenkowych, co daje duże możliwości selekcji materiału do odpowiedniej sytuacji klinicznej.^{2,3} Rozwój systemów ceramicznych, a zwłaszcza technologii CAD/CAM pozwala na tworzenie funkcjonalnych uzupełnień o bardzo dużej szczelności brzeżnej oraz estetyce satysfakcjonującej lekarza i pacjenta.¹⁻³ Badania dotyczące jakości materiałów i technologii łączących wykazały, że uzupełnienia ceramiczne zacementowane na filarze są bardzo wytrzymałe, spełniając wymagania mechaniczne podczas procesu żucia.² Wykonanie pośredniej odbudowy protezycznej w postaci wkładu koronowego wymaga opracowania tkanek twardych zęba zapewniającego retencję uzupełnienia oraz prawidłowy rozkład sił w ubytku. Taka preparacja może jednak spowodować występowanie nadwrażliwości pozabiegowej.¹ Dodatkowo zawsze istnieje ryzyko powstania mikroprzecieku brzeżnego podczas lub po zacementowaniu uzupełnienia na filarze.^{4,5}

restoration; however, they may be eliminated through the use of a good quality bonding system. In the case of hypersensitivity, this concerns the procedure of immediate dentine sealing. However, when microleakage forms, the key role is played by the quality and homogeneity of the hybrid layer created by the components of the bonding system. Adhesive cements are the only recommended materials to bond ceramics with dental hard tissues.⁶ This type of cement reduces the risk of microleakage, increases the mechanical properties of the bond and enhances dental hard tissues.⁶ Due to these characteristics it ensures long-term durability of the porcelain reconstruction in the oral cavity.⁴ In addition, it has good aesthetic properties, and creates a very thin bonding layer.⁷ The continuous development of adhesive systems makes it difficult to perform long term *in vivo* studies.¹ In order to obtain conditions that occur in the oral cavity with *in vitro* tests, a simulated aging processes must be carried out.^{1,5,8} Such procedures, for the purpose of exhaustion of the test sample, may cause damage of the microstructure of dental hard tissues and ceramic material due to different thermal expansion coefficients of the tested samples' components.⁹ Additionally, to simulate the conditions of the oral cavity, load tests should be conducted on cemented restorations.¹⁰

These tests can be performed by loading the tooth filled with a restoration, using a metal plunger moving with a speed of 0.5-1 mm/min. The growing strength with the specified maximum (50-1000N) is directed perpendicularly to the occlusal surface of the tooth. Clinical studies have shown that bonding quality of restorations on the occlusal surface in teeth that have an antagonist is much lower.¹¹ This is caused by the forces during masticatory function, which range from 300 to 5000N.¹¹

Adhesion of ceramic restorations to enamel and dentine is possible due to the incorporation of the bonding resin monomer into the hard tissue.¹² The adhesive systems can be divided depending on the application technology to etch-and-rinse and self-adhesive systems.¹³

The first step of the use of etch-and-rinse systems is etching of the tooth surface with 36%

Wymienione powikłania mogące powstać podczas wykonywania ceramicznych wkładów koronowych są eliminowane poprzez zastosowanie dobrej jakości systemu łączącego. W przypadku nadwrażliwości dotyczy to procedury immediate dentine sealing, natomiast w procesie powstawania mikroprzecieku kluczową rolę odgrywa jakość i homogenność warstwy hybrydowej utworzonej przez składniki systemu łączącego. Cementy adhezyjne są jedynymi polecanymi materiałami do łączenia ceramiki i twardych tkanek zębów.⁶ Ten rodzaj cementu zmniejsza ryzyko powstawania mikroprzecieku, zwiększa wytrzymałość mechaniczną uzupełnienia oraz wzmacnia pozostałe tkanki twarde zęba.⁶ Ze względu na te właściwości zapewnia długoterminowe powodzenie użytkowania odbudowy porcelanowej w jamie ustnej.⁴ Ponadto posiada dobre właściwości estetyczne oraz tworzy bardzo cienką warstwę łączącą.⁷

Ciągły rozwój systemów adhezyjnych sprawia, że trudno jest przeprowadzić długoczasowe badania w warunkach *in vivo*.¹ W celu uzyskania warunków, które występują w jamie ustnej podczas badań *in vitro* należy przeprowadzić cykle termiczne.^{1,5,8} Takie postępowanie, służące zmęczeniu badanej próbki, może powodować uszkodzenia mikrostruktury tkanek twardych zęba i materiałów ceramicznych, które powstają ze względu na różne współczynniki rozszerzalności termicznej.⁹ Dodatkowo w celu symulacji sytuacji zachodzących w jamie ustnej, należy zacementowane uzupełnienia poddać testom obciążeniowym.¹⁰ Takie testy mogą być wykonane przez obciążanie zęba z zacementowanym wkładem koronowym przy użyciu metalowego trzpienia poruszającego się z prędkością 0,5-1 mm/min. Rosnąca siła z określonym maksimum (50-1000N) skierowana jest w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni żującej zęba. Badania kliniczne wykazały, że szczelność wypełnienia na powierzchni żującej, w zębach posiadających antagonistę, jest znacznie mniejsza.¹¹ Jest to spowodowane działaniem sił podczas funkcji żucia.¹¹

Adhezja uzupełnień ceramicznych do szkliwa i zębiny jest możliwa dzięki wbudowaniu monomerów żywicy łączącej w twarde tkan-

phosphoric acid, and the ceramic surface with 5-9% hydrofluoric acid or 27% ammonium bifluoride.¹⁴ Such preparation provides appropriate porosity and wettability of the bonding materials.¹⁴ After etching of the porcelain surface is finished, a silane must be applied in order to create a chemo-mechanical bond.¹⁵ The next step is to use a primer and bond in order to incorporate methacrylate resins into the dentine collagen fibers.¹⁶ This procedure creates a hybrid layer that enables bonding to the dentine.^{5,16} However, acid etching removes calcium ions from dentine, leaving a superficial layer of collagen fibers exposed and surrounded by water.¹⁷ This results in deterioration of the bond formed between the calcium ions of dentine and the phosphoric or carboxyl groups contained in the bonding systems.¹⁷

In order to eliminate the clinically difficult steps of etching and rinsing of acid as well as etched inorganic substances, self-adhesives are proposed in order to bond dentine.^{15,18} The use of the self-adhesive system excludes the possibility of desiccation of tissues after etching.⁴ There are two-bottle systems composed of a separate hydrophilic primer and hydrophobic resin as well as all-in-one systems, which in their composition include an etching agent, primer and bonding resin.¹⁹ Such a solution significantly improves the process of cementing, and helps to reduce post-operative sensitivity.^{1,18,20} However, self-adhesive systems do not form a satisfactory bond with enamel. For better adhesion of self-etching systems to enamel, the technology of selective enamel etching is used.¹⁷ This is a solution that provides both a satisfactory bond to the enamel and dentine.¹⁸

The purpose of this literature review is to summarise the latest and the most reliable study results on the leakage of the adhesive bonding of ceramics with dental hard tissues. Electronic research of the most relevant articles was conducted in English in the MEDLINE database with access via PubMed.

Materials and Methods

Among the articles available in the Medline database, those published in years 2001-2016 were

ki zęba.¹² Systemy adhezyjne można podzielić ze względu na technikę aplikacji na: systemy „wytraw i spłucz” oraz systemy samoadhezyjne.¹³

Pierwszym etapem stosowania systemów „wytraw i spłucz” jest wytrawienie tkanek zęba 36% kwasem ortofosforowym, a powierzchni ceramiki 5-9% kwasem fluorowodorowym lub 27% bifluorkiem amonu.¹⁴ Takie przygotowanie zapewnia odpowiednią porowatość oraz zwilżalność materiałów łączących.¹⁴ Po wytrawieniu porcelany należy użyć silanu, w celu stworzenia chemo-mechanicznego wiązania.¹⁵ Kolejnym krokiem jest użycie primera i żywicy łączącej, czyli wbudowanie żywic metakrylanowych w włókna kolagenowe zębiny.¹⁶ Prowadzi to do powstania warstwy hybrydowej, która umożliwia wiązanie z zębina.^{5,16} Jednakże wytrawianie kwasem usuwa jony wapnia z zębiny pozostawiając powierzchnią warstwę włókien kolagenowych odsłoniętych i otoczonych wodą.¹⁷ Wpływa to na pogorszenie jakości wiązania wytworzonego między jonami wapnia zębiny a grupami fosforowymi lub karboksylowymi zawartymi w systemach łączących.¹⁷

W celu wyeliminowania trudnego klinicznie etapu wytrawiania i wypłukiwania kwasu oraz wytrawianych substancji nieorganicznych proponuje się systemy samoadhezyjne w przypadku łączenia z zębina.^{15,18} Zastosowanie systemu samoadhezyjnego wyklucza możliwość przesuszenia tkanek po wytrawieniu.⁴ Na rynku dostępne są systemy dwubutelkowe złożone z osobnego hydrofilowego primera i hydrofobowej żywicy łączącej oraz systemy all-in-one, które w swoim składzie mają czynnik trawiący, primer i żywicę łączącą.¹⁹ Takie rozwiązania znacznie usprawniły proces cementowania oraz pozwoliły na zmniejszenie nadwrażliwości pooperacyjnej.^{1,18,20} Systemy samotrawiące nie tworzą jednak satysfakcjonującego połączenia ze szkliwem. Dla lepszej adhezji systemów samotrawiących ze szkliwem wykorzystuje się technologie selektywnego trawienia.¹⁷ Jest to rozwiązanie, które zapewnia zarówno dobre wiązanie ze szkliwem, jak i z zębina.¹⁸

Celem poniższego przeglądu piśmiennictwa jest podsumowanie najnowszych i najbardziej wiarygodnych wyników badań doty-

selected for analysis, in order to select the most current materials and methods. The keywords by which articles were selected were: adhesives, bonding, cements, ceramics, dental porcelain, inlay, microleakage, self-adhesive. All the analysed articles present the description of *in vitro* studies and include the comparison of etch-and-rinse and self-etching systems. In all the studies, thermo-mechanical cycles were applied on the samples. Studies in which composite restorations had been cemented were removed from the review. These criteria were fulfilled only by six studies that were evaluated in the present review.

Results

The first analysed study (*Cal et al.*) considered studies of forty teeth with inlays made of glass ceramic IPS Empress II. Inlays were cemented using four different systems; in the control group an etch-and-rinse system (Variolink II, Ivoclar Vivadent) was used, while in the research groups three different self-adhesive cements were used (Multilink Sprint Ivoclar Vivadent; G-Cem GC; RelyX Unicem 3M ESPE). The samples were subjected to 1,000 thermal cycles (5-55°C), with a dwell time of 30 seconds. The results of this study showed that the etch-and-rinse system guarantees a better bond than self-adhesive ones. However, when the self-adhesive system is used with selective etching of the enamel (RelyX Unicem), tightness similar to the control group was achieved.⁵

During subsequent research, conducted at the State University in Campinas, a different approach was applied and research groups were divided depending on how dentine was conditioned with the adhesive system. The control group was treated with an etch-and-rinse system, with 37% phosphoric acid. Then a bonding system (Excite DSC, Ivoclar Vivadent) and a dual cement (Variolink II, Ivoclar Vivadent) were used. In all research groups, the same self-adhesive cement, Rely X Unicem (3M ESPE), was used. In the first group, dentine was air-stream dried and then cement was applied. In the second group, dentine was moist – only the excess of water was absorbed, and afterwards cement was used. In

czących szczelności połączenia adhezyjnego ceramiki z twardymi tkankami zęba. Elektroniczne wyszukiwanie najbardziej trafnych artykułów w języku angielskim zostało przeprowadzone w bazie MEDLINE z dostępem przez PubMed.

Materiały i metody

Spośród artykułów udostępnionych w bazie Medline do analizy wybrano teksty opublikowane w latach 2001-2016, w celu doboru najbardziej nowoczesnych materiałów i metod. Słowa kluczowe, na podstawie których wyszukiwano artykuły to: adhesives, bonding, cements, ceramics, dental porcelain, inlay, microleakage, selfadhesive. Wszystkie analizowane artykuły przedstawiają opis badań *in vitro* i dotyczą porównania systemów „wytraw i spłucz” oraz systemów samotrawiących. We wszystkich przedstawionych badaniach zostało zastosowane termomechaniczne obciążenie próbek. Z przeglądu zostały wyeliminowane badania, w których cementowano uzupełnienia z materiałów złożonych. Powyższe kryteria zostały spełnione jedynie przez 4 badania, które zostały poddane ocenie w tej pracy.

Wyniki

W badaniach *Cal* i wsp. wzięto pod uwagę 40 zębów z wkładami koronowymi wykonanymi z ceramiki szklanej IPS Empress II. Wkłady cementowano przy użyciu czterech różnych systemów: w grupie kontrolnej zastosowano system „wytraw i spłucz” (Variolink II Ivoclar Vivadent), natomiast w grupach badawczych stosowano trzy różne cementy samotrawiące (Multilink Sprint Ivoclar Vivadent; G-Cem GC; RelyX Unicem 3M ESPE). Następnie próbki były poddawane 1000 cykli termicznych (5-55° C), z czasem zmiany temperatury co 30 sekund. Wyniki tych badań wykazały, że system „wytraw i spłucz” gwarantuje lepszą szczelność niż systemy samotrawiące. Jednakże, gdy zastosowano system samotrawiący z zastosowaniem selektywnego trawienia szklivi (RelyX Unicem) otrzymano szczelność podobną do grupy kontrolnej.⁵

W kolejnych badaniach, przeprowadzonych

the third research group, after air-stream drying of dentine, a bonding resin (Clearfil SE Bond, Kuraray Co. Ltd.) was used, and then cement was applied. Inlays made of IPS Empress Esthetic were cemented. Samples were stored at 37°C for 24 hours, then compression tests were conducted using Instron 4411 (Instron Corp.) at a speed of 0.5 mm/min. *Guarda et al.* showed that only the excess of water remaining after preparation of the cavity must be absorbed while cementing ceramic restorations. Moreover, it turned out that the state of humidity of dentine is an important factor when using self-adhesive systems. However, there were no statistically significant differences between groups where dentine was moist when bonding resin was used, and the control group.¹⁸

Researchers from Saudi Arabia divided eighty previously removed third molars into two groups depending on the cemented inlays: zirconia (Vitablocks Trilux forte) or CAD/CAM technology (Ceramill Zi). Then each group was divided into two subgroups depending on the system used: etch-and-rinse (Rely X Ultimate Clicker, 3M ESPE) or self-adhesive (Rely X Unicem Aplicap, 3M ESPE). Each of the samples was subjected to 24,000 load cycles with a force of 50 N using a universal testing machine (Model 5965, Instron). Then the teeth with cemented inlays were subjected to 3500 thermal cycles (5-55°C) with a dwell time of 30 seconds. *Khalil and Abdelaziz* demonstrated that there were no statistically significant differences between the cements, and that the process of simulated aging (thermocycles and load) did not affect the achieved quality of the bond of the ceramics to dentine.¹⁵

In other authors' research, forty ceramic inlays (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent) were used. The tightness of the bond was investigated after cementing with a two-bottle etch-and-rinse system (OptiBond FL®) and a two-bottle self-etching system (Clearfil SE Bond). All inlays were cemented with Variolink II cement (Ivoclar Vivadent). Samples were kept in a moist atmosphere at 36°C for 24 hours. The teeth with inlays were tested using a compression machine (Shimadzu model AG-x plus®, Shimadzu Corporation) with a load of 1000 N at a speed of 0.5 mm/min. The study

w Stanowym Uniwersytecie w Campinas, zastosowano inne podejście i grupy badawcze podzielono w zależności od sposobu kondycjonowania zębiny systemem adhezyjnym. Grupę kontrolną poddawano procedurze „wytraw i spłucz”, używając 37% kwasu ortofosforowego, następnie stosowano system łączący (Excite DSC, Ivoclar Vivadent) oraz cement dualny (Variolink II, Ivoclar Vivadent). We wszystkich grupach badawczych został zastosowany ten sam cement samo-adhezyjny Rely X Unicem (3M ESPE). W I grupie badawczej zębina była suszona strumieniem powietrza, a następnie aplikowano cement. W grupie II zębina była wilgotna – absorbowano tylko nadmiary wody, kolejno stosując cement. W trzeciej grupie badawczej po osuszeniu zębiny strumieniem powietrza wykorzystano żywicę łączącą (Clearfil SE Bond, Kuraray Co. Ltd.), a następnie używano cementu. Cementowano wkłady wykonane z ceramiki IPS Empress Esthetic. Próbkę były przechowywane w temperaturze 37°C przez 24 godziny, a następnie poddawane testom ściskania przy użyciu maszyny Instron 4411 (Instron Corp.) z prędkością 0,5 mm/min. *Guarda i wsp.* wykazali, że tylko nadmiary wody pozostające po opracowaniu ubytku powinny zostać zaabsorbowane podczas cementowania uzupełnień porcelanowych. Ponadto okazało się, że stan wilgotności zębiny jest znaczącym czynnikiem podczas używania systemów samoadhezyjnych. Natomiast nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami, gdzie zębina była wilgotna, gdy używano żywicy łączącej oraz grupą kontrolną.¹⁸

Badacze z Arabii Saudyjskiej podzielili 80 usuniętych trzecich zębów trzonowych na dwie grupy w zależności od cementowanych wkładów koronowych: na bazie ditlenku cyrkonu (Vitablocks Trilux forte) lub w technologii CAD/CAM (Ceramill Zi). Następnie każdą z grup podzielono na dwie podgrupy w zależności od stosowanego systemu łączącego: „wytraw i spłucz” (Rely X Ultimate Clicker, 3M ESPE) lub samoadhezyjnego (Rely X Unicem Aplicap, 3M ESPE). Każdą z próbek poddano 24000 cykli obciążeniowych z siłą 50 N przy użyciu uniwersalnej maszyny (Model 5965, Instron). Następnie zęby z zacementowanymi wkładami koronowymi poddawano 3500 cykli termicz-

showed no statistically significant differences between the two cements. However, the results for the samples cemented with an etch-and-rinse system presented less statistical dispersion.²¹

In the next study, sixty healthy premolars, previously extracted, were used. In each of them dentine was exposed using a diamond coated drill and high-speed turbine. Blocks of feldspar material CEREC® Blocs PC (VITA Zahfabrik Germany) were cut into 30 discs and resin nano ceramic, Lava™ Ultimate CAD/CAM Restorative for CEREC Blocs (3M ESPE Dental, St. Paul, MN, USA) was also cut into 30 discs. All discs were etched with 9% hydrofluoric acid and silane conditioned. The teeth were divided into six groups A-F. Where Rely X U200 (3M ESPE Dental) cement was used, in groups A and D, dentine was not prepared in advance. When NX3 Nexus cement (Kerr Corporation) was used, group B and E, dentine was etched with 37% phosphoric acid, and then OptiBond Solo Plus (Kerr Corporation) was applied. In groups C and F Variolink® II/Syntac Classic cement (Ivoclar Vivadent) was used, on previously etched dentine with 37% phosphoric acid, primed with Syntac primer (Ivoclar Vivadent), followed by Syntac adhesive (Ivoclar Vivadent) and Heliobond (Ivoclar Vivadent). All samples were subjected to 500 thermal cycles (5-55°C) with a dwell time of 30 seconds. Then the samples were subjected to load tests using an Instron 8874 universal testing machine operating with increasing force at a speed of 1 mm/min until the sample was destroyed. The results of this study revealed that cement compatible with the etch-and-rinse procedure and a separate primer, adhesive and bond delivered the tightest connection of dentine and dental hard tissues. What is more, the type of ceramic used had no effect on the quality of the resulting bond.²²

In subsequent studies, four hundred and eighty ceramic discs (CERAMCO II CERAMCO Inc.) were subjected to a polishing procedure with silicon-carbide abrasive paper with grits of 400 and 600, to obtain a smooth ceramic surface. In addition, all discs were etched with 37% phosphoric acid. Six groups were established according to the method of preparation of the

nych (5-55°C) z czasem zmiany temperatury co 30 sekund. *Khalil i Abdelaziz* dowiedli, że nie ma statystycznie znaczących różnic pomiędzy stosowanymi cementami, a procesy symulowanego starzenia (termocykle i obciążenie) nie miały wpływu na osiągniętą jakość wiązania ceramiki z zębina.¹⁵

W badaniach innych autorów wykorzystano 40 krążków ceramicznych (IPS e. max Press, Ivoclar Vivadent) i badano szczelność ich połączenia po zacementowaniu przy użyciu dwubutelkowego systemu „wytraw i spłucz” (Optibond FL®) oraz dwubutelkowego systemu samotrawiącego (Clearfil SE Bond®). Wszystkie wkłady zostały zacementowane przy użyciu cementu Variolink II (Ivoclar Vivadent). Próbkę były przechowywane w wilgotnej atmosferze w temperaturze przez 24 godziny. Następnie zęby z wkładami koronowymi zostały poddane testom ściskania przy użyciu maszyny (Shimadzu model AG-x plus®, Shimadzu Corporation) o mocy 1000 N z prędkością 0,5 mm/min. Badania nie wykazały istotnych statystycznie różnic pomiędzy badanymi cementami. Jednakże wyniki dotyczące próbek cementowanych systemem „wytraw i spłucz” przedstawiały mniejsze statystycznie rozproszenie.²¹

W następnych badaniach wykorzystano 60 usuniętych, zdrowych zębów przedtrzonowych, w których przy użyciu wiertła diamentowego oraz wiertarki szybkoobrotowej odsłonięto zębina. Bloki materiału skaleniowego CEREC® Blocs PC, odcień S2 (VITA Zahfabrik Germany), pocięto na 30 dysków i bloki nano resin ceramic, LAVA™ Ultimate CAD/CAM Restorative for CEREC Blocs, odcień A2 (3M ESPE Dental, St. Paul, MN, USA), również pocięto na 30 dysków. Wszystkie dyski zostały wytrawione 9% kwasem fluorowodorowym oraz kondycjonowane silanem. Zęby podzielono na sześć grup A-F. Gdy stosowano cement Rely X U200 (3M ESPE Dental), zębiny nie przygotowywano wcześniej – grupy A i D. Gdy używano cementu NX3 Nexus (Kerr Corporation), zębina była wytrawiana 37% kwasem ortofosforowym, a następnie aplikowano OptiBond Solo Plus (Kerr Corporation) – grupy B i E. W grupie C i F wykorzystano cement Variolink® II/Syntac Classic (Ivoclar Vivadent), wcześniej wytrawiano zębina 37% kwasem ortofosforowym,

ceramics. In the first group, polishing and etching with phosphoric acid were applied. In the second group, air abrasion (MiniBlaster, Belle de St. Caire) was used. In the third group, silane was applied (suitable for the cement used later). In the fourth group, first air abrasion was provided, and then silane was applied. The fifth group was etched with 9.6% hydrofluoric acid and the sixth was etched with 9.6% hydrofluoric acid and then silane was applied. Each group was divided into four subgroups based on the cement used: Nexus, Panavia 21, Rely X ARC and Calibra. For each of the porcelain discs, cement was bonded on a predetermined, standardized surface, and then the samples were transferred to an isotonic solution of saliva (pH = 7.5). Of each subgroup, ten samples were subjected to load tests after twenty-four hours, and the remaining ten samples after six months. Stress tests were carried out in a universal machine (Instron Corp.) imitating physiological chewing movements at a speed of 5 mm/min. Preparations of dentine were conducted in a similar way; dentine from sixty extracted molars was prepared in the form of discs, polished with abrasive paper with grits of 400 and 600, and then divided into six groups depending on the bonding system used. In all groups except the third, the etch-and-rinse procedure was applied. In the third group, a two-bottle self-adhesive system was used. For each of the prepared dentine discs, cement was bonded on a predetermined, standardized surface. Samples were stored for 24 hours in an isotonic solution of saliva, and then subjected to load tests, as were samples of ceramic discs. The results of this study allow us to conclude that the preparation of ceramics should include both hydrofluoric acid etching and the use of silane. In contrast, both self-cure bonding resin as well as light-cure resin can be used with any cement.²³

Conclusions

This review may be useful for clinicians who have to choose the bonding system in order to get a good connection quality of ceramics with dental hard tissues. This is an interesting topic for many practitioners, due to the increasing use of permanent ceramic restorations.²³ The choice

stosowano Syntac primer (Ivoclar Vivadent), następnie Syntac adhesive (Ivoclar Vivadent) oraz Heliobond (Ivoclar Vivadent). Wszystkie próbki zostały poddane 500 termocyklom (5-55°C), z czasem zmiany temperatury co 30 sekund. Następnie preparaty poddano testom obciążeniowym przy użyciu uniwersalnej maszyny Instron 8874 działającej z rosnącą siłą, z prędkością 1 mm/min do momentu zniszczenia. Wyniki tego badania pozwoliły stwierdzić, że cement wykorzystujący procedurę „wytraw i spłucz”, a także osobny primer, adhesive i żywicę łączącą pozwoliły uzyskać najbardziej szczelne połączenie zębiny z twardymi tkankami zęba. Natomiast rodzaj wykorzystywanej ceramiki nie miał wpływu na jakość powstającego wiązania.²²

W kolejnych badaniach wykonano 480 krążków ceramicznych (Ceramco II, Ceramco Inc.), które poddano procedurze polerowania papierem ściernym węglkowo-krzemowym o ziarnistości 400, a następnie 600, tak aby uzyskać płaską powierzchnię ceramiki. Wszystkie krążki zostały ponadto wytrawione 37% kwasem ortofosforowym. Utworzono sześć grup w zależności od sposobu przygotowania ceramiki. W I grupie porzeczano na polerowaniu i trawieniu kwasem ortofosforowym. W II grupie wykorzystano abrazyjną powietrzną (Miniblaster, Belle de St. Caire). W III grupie zastosowano silan (odpowiedni dla stosowanego później cementu). W grupie IV najpierw zastosowano abrazyjną powietrzną, a następnie silan, grupę V wytrawiono 9,6% kwasem fluorowodorowym, a grupę VI wytrawiono 9,6% kwasem fluorowodorowym, a następnie zastosowano silan. Każdą z grup podzielono na 4 podgrupy w zależności od stosowanego cementu: Nexus, Panavia 21, Rely X ARC oraz Calibra. Do każdego z porcelanowych dysków dołączano cement na określonej, standaryzowanej powierzchni, a następnie próbki przenoszono do izotonicznego roztworu śliny (pH=7,5). Po 10 preparatów z każdej podgrupy było poddawanych testom obciążeniowym po dwudziestu czterech godzinach, a 10 pozostałych próbek po sześciu miesiącach. Testy obciążeniowe zostały przeprowadzone w uniwersalnej maszynie (Instron Corp.) imitując fizjologiczne ruchy żucia z prędkością 5 mm/min. Preparaty zębiny zostały

of dental porcelain is justified by the presence of smaller microleakage around the ceramic materials than around composite materials.⁸ However, the improper choice of bonding system, an incorrect method of applying cementing procedures or incomplete polymerization of the cement may lead to marginal microleakage. This phenomenon, in effect, causes marginal discoloration, secondary caries or pulp inflammation.²⁵

Adhesive bonding of dental hard tissues with a ceramic material can increase the mechanical strength of the material and reduce tension between the restoration and hard tissues of the tooth.⁸ The analysed articles focused mainly on the bonding of the cement to dentine.^{15,18,21} This is due to the fact that etching of enamel with phosphoric acid in the etch-and-rinse technique brings satisfactory results in terms of quality and strength of the adhesive bonding.^{5,13,24,26}

In order to create a hybrid layer connecting the cement to dentine, clinicians must be aware of the tubular structure of this tissue, the movement of fluid in the dentinal tubules and formation of a smear layer during the preparation of the cavity.²⁷ The research shows that there is no statistically significant difference between the quality of bond made with dentine by self-adhesive systems with selective etching of enamel and etch-and-rinse systems.^{15,18,21} Improvement of the quality of the seal created by self-adhesive systems have been probably influenced by numerous reports demonstrating the importance of precision in the application of etch-and-rinse systems, and by easier application methods of self-etching systems.^{18,28}

Self-adhesive systems provide a good quality bond with dentine. However, the bond with enamel is not satisfactory.^{26,28} Selective enamel etching while using self-adhesive systems makes it possible to achieve a quality of bond with enamel comparable to that obtained when using etch-and-rinse systems.⁵

Conclusions

Based on this analysis, it can be concluded that the most efficient bonding of dental hard tissues of the tooth can be achieved using etch-and-rinse systems.^{5,21,22} Self-adhesive systems with the

przygotowane w podobny sposób – zębinę sześćdziesięciu usuniętych zębów trzonowych wypreparowano w formie krążków, polerowano papierem ściernym o ziarnistości 400 i 600, a następnie podzielono na 6 grup w zależności od stosowanego systemu łączącego. We wszystkich grupach zastosowano procedurę „wytraw i spłucz”, poza grupą trzecią, w której wykorzystano dwubutelkowy system samoadhezyjny. Do każdego z przygotowanych dysków zębiny dołączano cement na określonej, standaryzowanej powierzchni. Preparaty były przechowywane przez 24 h w izotonicznym roztworze śliny, a następnie poddane testom obciążeniowym, tak jak próbki ceramiczne. Wyniki tego badania pozwalają stwierdzić, że przygotowanie ceramiki powinno obejmować zarówno trawienie kwasem fluorowodorowym, jak i stosowanie silanu. Natomiast zarówno samopolimeryzująca żywica łącząca, jak światłoutwardzalna żywica łącząca mogą być stosowane z dowolnym cementem.²³

Podsumowanie

Powyższy przegląd piśmiennictwa może być przydatny dla lekarzy klinicyistów podczas wyboru systemu łączącego w celu uzyskania dobrej jakości połączenia ceramiki z twardymi tkankami zęba. Jest to temat zainteresowania wielu praktyków, ze względu na coraz częstsze stosowanie stałych uzupełnień ceramicznych.²³ Ten wybór uzasadniony jest występowaniem mniejszego mikroprzecieku wokół materiałów ceramicznych niż z materiałów złożonych.⁸ Jednakże niewłaściwy dobór systemu łączącego, nieprawidłowy przebieg procedur cementowania adhezyjnego lub niecałkowita polimeryzacja cementu mogą prowadzić do powstania mikroprzecieku brzeżnego. Zjawisko to w efekcie powoduje powstawanie przebarwień brzeżnych, próchnicę wtórną lub zmiany zapalne w miazdze.²⁵

Połączenie adhezyjne twardych tkanek zęba z materiałem ceramicznym pozwala zwiększyć odporność mechaniczną materiału oraz zmniejszyć naprężenia pomiędzy uzupełnieniem a tkankami twardymi zęba.⁸ Analizowane artykuły skupiają się głównie na połączeniu cementu z zębiną.^{15,18,21} Jest to spowodowane tym, że wytrawianie szkliwa kwasem ortofosforowym w technice

procedure of selective enamel etching provide a quality of the sealing of dental hard tissues and porcelain similar to that obtained when using etch-and-rinse systems.⁵ Special care should be taken not to over-dry dentine using self-adhesive systems during the cementation procedure.¹⁸ The type of ceramics does not affect the quality of the obtained bond.²³ A simulated process of aging does not have a statistically significant effect on the occurrence of microleakage in *in vitro* conditions.¹⁵

„wytraw i spłucz” przynosi satysfakcjonujące wyniki, jeśli chodzi o jakość i wytrzymałość połączenia adhezyjnego.^{5,13,24,26}

W celu wytworzenia warstwy hybrydowej łączącej cement z zębina należy pamiętać o tubularnej strukturze tej tkanki, ruchu płynu wewnątrz kanałków zębiny oraz tworzącej się warstwie mazistej podczas preparowania ubytku.²⁷ Przedstawione badania dowodzą, że nie ma statystycznie istotnych różnic pomiędzy jakością połączenia wytwarzanego z zębina przez systemy samotrawiące z selektywnym trawieniem szkliwa oraz systemy „wytraw i spłucz”.^{15,18,21} Prawdopodobnie na poprawę jakości szczelności połączenia, wytwarzanego przez systemy samotrawiące, wpłynęły liczne doniesienia dowodzące znaczenia precyzji podczas aplikacji systemów „wytraw i spłucz” oraz ułatwienie metod aplikacji systemów samotrawiących.^{18,28}

Systemy samotrawiące pozwalają uzyskać dobre jakościowo połączenie z zębina, jednakże ich wiązanie z tkankami szkliwa nie jest satysfakcjonujące.^{26,28} Selektywne trawienie szkliwa z zastosowaniem systemów samoadhezyjnych pozwala uzyskać jakość połączenia ze szkliwem porównywalną z otrzymaną podczas stosowania systemów „wytraw i spłucz”.⁵

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy, można wnioskować, że najbardziej efektywne wiązanie twardych tkanek zęba można uzyskać stosując systemy „wytraw i spłucz”.^{5,21,22} Systemy samoadhezyjne wraz z procedurą selektywnego trawienia szkliwa pozwalają uzyskać jakość połączenia tkanek twardych zęba z ceramiką zbliżoną do jakości połączenia uzyskiwanego podczas wykorzystywania systemów „wytraw i spłucz”.⁵ Ponadto należy zwrócić szczególną uwagę, aby nie przesuszyć nadmiernie zębiny stosując systemy samotrawiące podczas wykonywania procedury cementowania.¹⁸ Rodzaj stosowanej ceramiki nie ma wpływu na jakość uzyskiwanego połączenia,²³ zaś procesy stymulowanego starzenia nie mają istotnego statystycznie wpływu na powstanie mikroprzecieku w warunkach *in vitro*.¹⁵

References

1. *Feitosa VP, Medina AD, Puppini-Rontani RM, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA*: Effect of resin coat on bond strength of indirect restorations after thermal and load cycling. *Bull Tokyo Dent Coll* 2010; 51: 111-118.
2. *Guess PC, Vagopouloub T, Zhangc Y, Wolkewitzd M, Strub JR*: Marginal and internal fit of heat pressed versus CAD/CAM fabricated all-ceramic onlays after exposure to thermomechanical fatigue. *J Dent* 2014; 42: 199-209.
3. *Kelly JR, Benetti P*: Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Austr Dent J* 2011; 56: (1 Suppl): 84-96.
4. *Jaberi Ansari Z, Kalantar Mohamedi M*: Microleakage of two self-adhesive cements in the enamel. *J Dent (Tehran)*. 2014; 11: 418-427.
5. *Cal E, Celik EU, Turkun M*: Microleakage of ips empress 2 inlay restorations luted with self-adhesive resin cements. *Oper Dent* 2012; 37: 417-424.
6. *Alaghemand H, Abolghasemzadeh F, Pakdel F, Chelan RJ*: Comparison of microleakage and thickness of resin cement in ceramic inlays with various temperatures. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2014; 8: 45-50
7. *Seok-Hwan C, Lopez A, Berzins DW, Prasad S, Woo Ahn K*: Effect of different thicknesses of presable ceramic veneers on polymerization of light-cured and dual-cured resin cements. *J Contemp Dent Pract* 2015; 16: 347-352.
8. *Bergman MA*: The clinical performance of ceramic inlays: A review. *Austr Dent J* 1999; 44: 157-168.
9. *Saghiri MA, Asatourian A, Garcia-Godoy F, Gutmann JL, Sheibani N*: The impact of thermocycling process on the dislodgement force of different endodontic cements. *Biomed Res Int* 2013; 2013: 317185. doi: 10.1155/2013/317185.
10. *Shibata S, Gondo R Araújo E, de Mello Roesler CR, Baratieri LN*: Influence of surrounding wall thickness on the fatigue resistance of molars restored with ceramic inlay. *Braz Oral Res (São Paulo)* 2014; 28: 1-8.
11. *Hakimeh S, Vaidyanathan J, Houpt ML, Vaidyanathan TK, Von Hagen S*: Microleakage of compomer class v restorations: effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. *J Prosthet Dent* 2000; 82: 194-203.
12. *Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A, Coutinho E, Van Landuyt K, De Munck J, et al.*: Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Austr Dent J* 2011; 56: 31-44.
13. *Can Say E, Yurdagüven H, Ozel E, Soyman M*: A randomized five-year clinical study of a two-step self-etch adhesive with or without selective enamel etching. *Dent Mater J* 2014; 33: 757-763.
14. *van Dijkena JW, Hasselrot L*: A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages. *Dent Mater* 2010; 26: 929-939.
15. *Khalil AA, Abdelaziz KM*: Bonding values of two contemporary ceramic inlay materials to dentin following simulated aging. *J Adv Prosthodont* 2015; 7: 446-453.
16. *Tekçe N, Tuncer S, Demirci M, Balci S*: Do matrix metalloproteinase inhibitors improve the bond durability of universal dental adhesives? *Scanning* 2016. doi: 10.1002/sca.21293.
17. *Pedrigao J, Swift EJ Jr*: Universal adhesives. *J Esthet Restor Dent* 2015; 27: 331-334.
18. *Guarda GB, Gonçalves LS, Correr AB, Moraes RR, Sinhoreti MAC, Correr-Sobrinho L*: Luting glass ceramic restorations using a self-adhesive resin cement under different dentin conditions. *J Appl Oral Sci* 2010; 18: 244-248.
19. *Van Dijkena JWV, Sunnegardh-Gronberg K, Sorensson E*: Comparison of a single-step self-etching adhesive in noncarious cervical lesions. *J Adhes Dent* 2007; 9: 241-243.
20. *Gianini M, Takagaki T, Bacelar-Sa R, Vermelho PM, Ambrosano GMB, Sadr A, et al.*: Influence of resin coating on bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. *Dental Mater J* 2015; 34: 822-827.
21. *Román-Rodríguez JL, Agustín-Panadero R, Alonso-Pérez-Barquero J, Fons-Font A, Solá-Ruiz MF*: Shear bond strength of partial coverage restorations to dentin. *J Clin Exp Dent* 2015; 7: e396-399.
22. *Zuryati AG, Wahyuni J, Siew FF, Zaihan A, Dasmawati M*: Shear bond strength of computer-aided design and computer-aided manufacturing feldspathic and nano resin ceramics blocks cemented with three different generations of resin cement. *J Conserv Dent* 2015; 18: 355-359.
23. *Stewart GP, Jain P, Hodges J*: Shear bond strength of resin cements to both ceramic and dentin. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 277-284.
24. *van den Breemer CRG, Gresnigt MM, Cune MS*:

- Cementation of glass-ceramic posterior restorations: a systematic review. *BioMed Res Int* 2015, Article ID 148954.
25. *Patel MU, Punia SK, Bhat S, Singh G, Bhargava R, Goyal P*, et al.: an in vitro evaluation of microleakage of posterior teeth restored with amalgam, composite and zirconomer – a stereomicroscopic study. *J Clin Diagn Res* 2015; 9: ZC65-ZC67
26. *Frankenberger R, Roggendorf MJ, Naumann M, Taschner M*: Selective enamel etching reconsidered: Better than etch-and-rinse and self-etch? *J Adhes Dent* 2008; 10: 339-344.
27. *Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A*: Fatigue behaviour of different dentin adhesives. *Clin Oral Investig* 1999; 3: 11-17.
28. *Torres CR, Barcellos DC, Pucci CR, Lima G, Rodrigues CM, Siviero M*: Influence of methods of application of self-etching adhesives systems on adhesive bond strength to enamel. *J Adhes Dent* 2009; 11: 279-286.

Address: 02-006 Warszawa, ul. Nowogrodzka 59

Tel.: +4822 5021066

e-mail: mm.rackiewicz@gmail.com

Received: 8th June 2016

Accepted: 1st August 2016