

Naprawy stałych uzupełnień metalowo-ceramicznych – przegląd piśmiennictwa

Repairs of fixed metal-ceramic restorations – a literature review

Marek Mazur¹, Katarzyna Pindelska¹, Marcin Piotr Szerszeń²

¹ Studenckie Koło Naukowe, Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Students' Research Group at the Department of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw

² Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n med. *Jolanta Kostrzewa-Janicka*

HASŁA INDEKSOWE:

uzupełnienia metalowo-ceramiczne, naprawy uzupełnień stałych, metoda trybochemiczna, abrazja powietrzna

KEY WORDS:

metal-ceramic prosthetics, repairs of fixed prosthetics, tribochemical method, air-abrasion

Streszczenie

Konstrukcje metalowo-ceramiczne są wciąż chętnie wykorzystywane w rehabilitacji narządu żucia. Powszechność ich występowania wśród pacjentów sprawia, że uszkodzenia ceramiki licującej są częstymi przypadkami klinicznymi. Uszkodzenia dotyczą przede wszystkim odcinka przedniego, w którym defekt porcelany, a w szczególności ekspozycja metalowej podbudowy jest na ogół widoczne. Często uzupełnienia takie są wymieniane, mimo że poddane naprawie mogłyby służyć jeszcze przez długi czas. Naprawa może być przeprowadzana bezpośrednio w ustach pacjenta najczęściej za pomocą materiału kompozytowego. Sam zabieg jest stosunkowo prosty a otrzymany efekt zadowalający i trwały. Odpowiednio przeprowadzona procedura naprawcza pozwala na ustanowienie silnego połączenia, które umożliwia dalsze użytkowanie uzupełnienia.

Celem pracy jest przedstawienie możliwości naprawy uzupełnień metalowo-ceramicznych oraz prezentacja mechanicznych i chemicznych metod preparacji uszkodzonych powierzchni z wykorzystaniem wybranego piśmiennictwa.

Największym wyzwaniem w naprawach uzupeł-

Summary

Metal-ceramic prosthetic structures are still eagerly used in the rehabilitation of the masticatory system. Their common utilization by patients makes damage to the veneering ceramics a common clinical situation. The damage mainly concerns the anterior section, where the defect of the porcelain, and in particular the exposure of the metal framework, often becomes visible. Often, such restorations are replaced, although the repaired ones could serve for a long time. The repair can be carried out directly in the patient's mouth, most often with a composite material. The procedure itself is relatively simple and the effect achieved is usually satisfactory and lasting. Properly performed repair procedure aims at establishing a strong bond, which enables further use of the restoration.

The aim of this review is to present the possibilities of repairing metal-ceramic restorations and to present the mechanical and chemical methods of preparation of damaged surfaces based on selected literature.

The greatest challenge in the repair of metal-ceramic restorations seems to be obtaining the

nień metalowo-ceramicznych wydaje się uzyskanie odpowiedniej siły adhezji, która umożliwiłaby długoczasową stabilność efektów. Siła adhezji jaka jest wymagana do utrzymania się wypełnienia zależy od wielu czynników i jest zmienna w czasie. Kombinacja metod mechanicznych i chemicznych modyfikacji powierzchni, połączona z wyborem odpowiedniego materiału wypełniowego i właściwą techniką pracy powinna skutkować długotrwałym sukcesem klinicznym.

appropriate adhesive strength, which enables long-term stability effect. The strength of adhesion required to maintain a filling depends on many factors and varies over time. The combination of mechanical and chemical surface modification methods, combined with the selection of the appropriate restorative material and the correct working technique, should result in long-term clinical success.

Wstęp

Uszkodzenia stałych uzupełnień protetycznych od dziesięcioleci stanowią istotny problem protetyki stomatologicznej. O ile dawniej uszkodzenie niemal zawsze skutkowało koniecznością wymiany uzupełnienia protetycznego, o tyle w dobie stomatologii adhezyjnej istnieją sposoby umożliwiające skuteczne dokonanie wewnątrzustnej naprawy, dając możliwość dalszego użytkowania uzupełnienia. Decyzja dotycząca ewentualnej naprawy konstrukcji metalowo-ceramicznej lub jej zaniechania zależy w głównej mierze od przyczyny uszkodzenia. Spośród możliwych przyczyn uszkodzenia warstwy licującej należy wymienić: uszkodzenia urazowe, nie zrównoważone siły okluzyjne (np.: wynikające z przedwczesnych kontaktów), zmęczenie materiału, błędy w wykonawstwie laboratoryjnym, różnice w rozszerzalności termicznej metalu i materiału ceramicznego oraz niewłaściwe zaprojektowanie uzupełnienia. Przyczyny których nie da się wyeliminować przed naprawą stanowią przeciwwskazanie do naprawy uszkodzenia i powinny skłaniać lekarza do decyzji o wymianie uzupełnienia na nowe, po uprzednim przeprowadzeniu dokładnej diagnostyki klinicznej oraz zaplanowaniu kompleksowego leczenia.¹⁻⁶

Według doniesień licznych autorów konieczność wymiany uzupełnienia protetycznego w 2-10% w trakcie 10 lat użytkowania wynika z uszkodzenia ceramiki licującej.^{2,4,7}

Uszkodzenie warstwy licującej jest drugim co do częstości powodem wymiany uzupełnienia, zaraz po próchnicy wtórnej.^{1,4,6} Ponadto lokalizacją uszkodzenia aż w 65% przypadków jest odcinek przedni, uważany przez pacjentów za newralgiczny ze względów estetycznych.⁸ Wymiana uzupełnienia protetycznego, w sytuacji niewielkiego uszkodzenia warstwy licującej jest rozwiązaniem inwazyjnym, które pociąga za sobą możliwość utraty zmineralizowanych tkanek zęba. Działanie takie stoi w sprzeczności z zasadami stomatologii minimalnie inwazyjnej. Naprawa nie tylko jest rozwiązaniem bardziej zachowawczym, lecz także wiąże się z oszczędnością czasu i kosztów. Wadami napraw może być gorszy efekt estetyczny i zmniejszona trwałość konstrukcji.^{1,7,9} Dzięki rozwojowi stomatologii adhezyjnej, wytrzymałość takiego rozwiązania jest mimo wszystko bardzo duża. Obserwacje *Ozcan* i wsp. wskazują na skumulowany wskaźnik sukcesu leczniczego na poziomie 89% w trakcie niespełna 3-letniej obserwacji.⁸

Metody wewnątrzustnej naprawy uzupełnień metalowo-ceramicznych

Na podstawie zgromadzonego piśmiennictwa można przyjąć istnienie 2 metod napraw stałych uzupełnień protetycznych – metoda bezpośrednia i pośrednia.^{1,5,9} Metoda bezpośrednia polega na adhezyjnym zacementowaniu odkruszonego fragmentu porcelany lub odbudowie ubytku warstwy licującej za pomocą materiału

złożonego, po wcześniejszej modyfikacji powierzchni uszkodzenia i zastosowaniu specjalnej procedury adhezyjnej.^{2,4,9,10} Metoda pośrednia polega na usunięciu ceramiki licującej z okolicy uszkodzenia i pobrzeża, a następnie pobraniu wycisku i laboratoryjnym wykonaniu brakującego fragmentu.^{5,7,9,11} Metoda bezpośrednia polecana jest w niewielkich uszkodzeniach z uwagi na ograniczenia materiałów złożonych, zaś metoda pośrednia zalecana jest w ubytkach o większej rozległości, szczególnie z ekspozycją metalowej podbudowy.⁵

Technika i zasady napraw uzupełnień metalowo-ceramicznych

Stosunkowo prostym w naprawie uszkodzeniem ceramiki licującej jest pęknięcie. Jest ono zazwyczaj mało widoczne i nie stanowi problemu estetycznego lub funkcjonalnego. Problemem jest jednak możliwość jego propagacji i w efekcie bardziej poważne uszkodzenie uzupełnienia protetycznego. Ponadto wraz z upływem czasu w szczelinę pęknięcia mogą wnikać bakterie chromogenne, których produkty przemiany materii mogą prowadzić do powstania nieestetycznych przebarwień.^{2,12} W przypadku tego typu uszkodzenia *Gresnigt* i wsp. proponują 3 możliwe postępowania: pozostawienie pęknięcia w przypadku, gdy nie stanowi problemu natury estetycznej i nie ulega propagacji, wymianę uzupełnienia, lub metodę infiltracji z użyciem żywicy. Zgodnie z zasadami stomatologii minimalnie inwazyjnej wymiana jest ostatecznością, dlatego na uwagę zasługuje metoda infiltracji.^{1,2,9,12} Metoda infiltracji polega na modyfikacji powierzchni pęknięcia za pomocą metod mechanicznych (abrazja powietrzna) i chemicznych (użycie wytrawiacza do porcelany). Po takim przygotowaniu w szczelinę wprowadzany jest silan, a następnie system łączący. By system łączący mógł wpłynąć w głąb uszkodzenia po aplikacji, autor zaleca zaklejenie pęknięcia taśmą nieprzepuszczalną dla światła na 20 min. Dalsze postępowanie

obejmuje polimeryzację i wypełnienie szczeliny materiałem złożonym, który po polimeryzacji musi zostać starannie wypolerowany.^{12,13}

Innym rodzajem uszkodzenia jest ubytek ceramiki licującej. W przypadku ubytku konieczne jest jego wypełnienie, zazwyczaj materiałem kompozytowym. Problematyczne może być jednak uzyskanie odpowiedniej siły adhezji do powierzchni ceramiki i metalu. Według normy ISO 10477 minimalna siła adhezji dla materiałów opartych na polimerach stosowanych w mostach i koronach wynosi 5 Mpa. W przypadku napraw sugerowana jest jednak siła wynosząca minimum 8-10 Mpa.^{14,15} Do uzyskania takiej siły konieczne jest odpowiednie zmodyfikowanie powierzchni uszkodzenia za pomocą metod mechanicznych i chemicznych, które zostały omówione w dalszych rozdziałach artykułu. Przed modyfikacją powierzchni uszkodzenia, w postaci ubytku licowania, należy stworzyć warunki korzystne do odbudowy. Zaleca się usunięcie warstwy glazury z pobrzeża uszkodzenia w celu zwiększenia powierzchni porcelany, która będzie brać udział w wiązaniu się z materiałem wypełnieniowym. Klinicznie zaleca się wykonanie zukośnienia na brzegu uszkodzenia za pomocą abrazyj powietrznej lub wiertła diamentowego. Zukośnienie poprawia istotnie adaptację brzeżną i estetykę.^{3,13,16} Obszary, które nie będą poddawane modyfikacji zaleca się powlecić materiałem izolacyjnym, np. żelem glicerynowym, zabezpieczającym przed uszkodzeniem innych części uzupełnienia.¹⁶ Następnym krokiem jest zmodyfikowanie powierzchni uszkodzenia. Metody mechaniczne powinny być łączone z metodami chemicznymi, zapewniając właściwą retencję mikromechaniczną. Największe siły adhezji do ceramiki są generowane przez użycie abrazyj powietrznej, następnie wytrawianie kwasem fluorowodorowym i naniesienie silanu.^{1,2,17,18} W przypadku metalu najlepszą metodą jest zastosowanie abrazyj powietrznej połączonej z chemicznym przygotowaniem powierzchni za pomocą primera do metalu.^{6,9,15,19}

Warty podkreślenia jest fakt, iż stosowanie zbyt wielu metod jednocześnie niesie za sobą niekorzystne efekty. Doniesienia *Shiu* i wsp.²⁰ pokazują, że zbyt duża ilość zastosowanych środków powoduje nadmierne osłabienie struktury powierzchniowej naprawianej porcelany i w efekcie obniża efektywność wiązania kompozytu do porcelany. Zdaniem autorów zastosowanie więcej niż 1 metody mechanicznej modyfikacji powierzchni wymaga odpowiedniego ograniczenia intensywności ich działania. Określenie właściwych proporcji pomiędzy wykorzystywanymi metodami mechanicznymi wymaga jednak dalszych badań.

W przypadku ekspozycji części metalowej po odpowiednim przygotowaniu powierzchni, należy zminimalizować możliwość przeświecania nieestetycznej podbudowy przez materiał wypełnieniowy. Służą do tego materiały opakerowe. Materiały tego rodzaju są najdelikatniejszą pod kątem właściwości mechanicznych częścią naprawy, dlatego należy je nakładać w cienkiej warstwie wyłącznie na powierzchnię metalu. Materiały opakerowe nie są przystosowane do polimeryzacji wewnątrzustnej, gdyż są materiałami używanymi w pracowniach technicznych. Aby doszło do prawidłowej polimeryzacji naświetla się je powyżej 40 sekund, wykorzystując lampy polimeryzacyjne średniej mocy.^{15,16} Następnie, po przeprowadzeniu silanizacji części ceramicznej, można nałożyć system łączący. Nie jest on konieczny, ale dzięki niskiej lepkości dociera w szczeliny niedostępne dla konwencjonalnego materiału kompozytowego.²¹ Nakłada się go wyłącznie na ceramikę licującą, gdyż może on rozpuszczać materiał opakerowy. Zalecane jest jego rozdmuchiwanie z ceramiki w stronę metalowej części pokrytej opakerem, tak by nie doszło do zabrudzenia ceramiki rozpuszczonym opakerem.^{16,21} Po fotopolimeryzacji można przystąpić do wypełniania uszkodzenia.

Materiałami pierwszego wyboru są kompozyty, z uwagi na trwałość i efekty estetyczne.

W przypadku uszkodzenia uzupełnienia protezy na granicy uzupełnienie- ząb dopuszczalne jest użycie cementów glasonomero- wych, które działają kariostatycznie, nie wymagają suchości i zapewniają chemiczną adhezję do porcelany i metalu.³ Niesprzyjające dobrej adaptacji do ubytku są materiały kompozytowe o wysokiej zawartości procentowej wypełniacza np. kompozyty nanohybrydowe. Badania pokazują, że polecanymi w tego typu odbudowach są kompozyty mikrohybrydowe i hybrydowe.^{2,3,18,21} Wysoka zawartość żywicy w masie kompozytu ma duży potencjał do adhezyjnego łączenia się z silanem. Sam rodzaj żywicy, na której oparta jest technologia działania danego kompozytu, ma marginalny wpływ na generowane siły adhezji.¹⁸

Po wypełnieniu uszkodzenia należy dostosować odbudowę do warunków zwarciovych i następnie przeprowadzić polerowanie. Ważne jest sprawdzenie czy udało się wyeliminować pierwotną przyczynę uszkodzenia uzupełnienia, którą bardzo często jest przedwczesny kontakt zwarciovowy.¹⁶

Mechaniczne metody modyfikacji powierzchni

Najprostszą metodą zapewnienia mechanicznej retencji jest schropowacenie powierzchni uszkodzenia za pomocą diamentowego wiertła. Jest ona najmniej efektywną metodą zapewnienia retencji mikromechanicznej zarówno w uszkodzeniach z ekspozycją, jak również bez ekspozycji metalowej podbudowy. Wygenerowane siły adhezji różnią się zależnie od użytego systemu naprawy porcelany i mieszczą się między 4,8-14,4 MPa.^{4,6,15,19,22,23} Używanie wiertel zarówno o drobnym jak i grubym nasypie skutkuje powstawaniem niewielkich pęknięć w obrębie porcelany i w efekcie jej odkruszaniem. *Reston* i wsp. polecają w takich przypadkach wykonywanie chropowacenia na szybkich obrotach, celem uniknięcia wibracji i powstawania pęknięć w obrębie porcelany.³ Niektórzy praktycy zalecają tworzenie

zaczepów makroretencyjnych w postaci rowków i podcięć. Badania pokazują jednak, że takie działanie nie poprawia zauważalnie siły długoczasowego utrzymania naprawy i musi być traktowane jako rozwiązanie tymczasowe.^{2,23,24}

Wartą polecenia metodą modyfikacji powierzchni jest abrazja powietrzna. W obrazach SEM (ang. Scanning Electron Microscope – skaningowy mikroskop elektronowy) powierzchnie porcelany poddane abrazji są chropowate i mają bogatą morfologię. Powierzchnia jest oczyszczona, łatwo zwilżalna i posiada dużą powierzchnię dostępną dla czynników adhezyjnych.^{3,14,20,25} Cząsteczki ścierniwa wbijając się w powierzchnię ceramiki powodują powstawanie mikropęknięć, umożliwiając zapływanie czynników trawiących w głąb szczelin, co znacznie zwiększa powierzchnię dostępną dla adhezji.^{19,25}

Powierzchnia metalowej podbudowy poddana abrazji powietrznej pokryta jest łączącymi się wzajemnie rowkami.⁴ Na powierzchni metalu widoczne są wbite mocniej lub słabiej w jego strukturę cząsteczki tlenku glinu. Słabo zakotwione cząsteczki mogą osłabiać wiązanie adhezyjne, dlatego zaleca się je usunąć przed procedurą adhezyjną za pomocą np. ultradźwięków.^{25,26} Abrazja powoduje usunięcie wszelkich zanieczyszczeń w tym tlenków metali, pozostawiając chropowatą, jednolicie matową powierzchnię o dużej zwilżalności.^{2,4,9,14,25} Piaskowanie wiąże się z wytwarzaniem pyłów, dlatego powinno być przeprowadzane w obecności koferdamu przy sprawnym działaniu ssaka stomatologicznego.^{1,3}

Badania licznych naukowców pokazują, że zastosowanie abrazji powietrznej w przypadku ekspozycji metalowej podbudowy stanowi rozwiązanie o wysokiej skuteczności.^{4,6,14,15,19,22,25,26} Rozwijane siły adhezji wynoszą 7-17 Mpa.^{17,22} W sprzeczności z tymi doniesieniami jest stanowisko *Agustin-Panadero* i wsp.,²⁷ których badania wykazały, że lepsze

siły uzyskuje się stosując chropowacenie wiertłem. Różnica ta wynika jednak z dużej odległości między końcówką piaskarki a powierzchnią opracowywaną (20 mm) i zbyt krótkiego czasu pracy piaskarki (10 s). Zalecanymi parametrami pracy piaskarki abrazyjnej jest ciśnienie 2-3 bary, czas 15 s i odległość 10 mm.¹ Liczne badania sugerują nawet, że użycie abrazji powietrznej umożliwia rezygnację z kondycjonowania porcelany kwasem.^{2,4,22}

Modyfikacją metody abrazji powietrznej jest zastosowanie jako ścierniwa cząsteczek tlenku glinu pokrytych związkami krzemu (metoda silikatyacji na zimno). Zastosowanie tego ścierniwa powoduje wzrost zawartości procentowej krzemu w powierzchniowej warstwie metalu i umożliwia chemiczne wiązanie z silanem.^{1,25,28} Partykuły uderzając w powierzchnię podnoszą lokalnie temperaturę do 1200°C i ulegają wtopieniu na głębokość 10-15 µm.^{2,21,29} Przykładem takiego systemu jest CoJet (CoJet-Sand, 3M ESPE AG, Seefeld, Niemcy) zawierający partykuły o średnicy 30 µm pokryte warstwą związków krzemu.^{2,20,21} Liczne badania pokazują, że system abrazji trybochemicznej zapewnia najlepszą adhezję do metalu spośród wszystkich dostępnych metod.^{6,8,14,19,29,30} Abrazja tribochemiczna korzystnie oddziałuje także na ceramikę licującą, choć jej użycie nie implikuje istotnie lepszych parametrów wytwarzanego połączenia adhezyjnego. Niezaprzeczalną zaletą użycia tej metody jest jednak możliwość opracowywania całego uszkodzenia za pomocą jednego rodzaju ścierniwa.^{19,20,30} Obserwacje *Ozcan* i wsp.⁸ mówią o wskaźniku 3-letniej przeżywalności napraw na poziomie 89%. Jego przewaga nad konwencjonalną abrazją wynika głównie z modyfikacji zarówno kształtu powierzchni, jak również jej składu chemicznego. Zapewnia oszczędną preparację poprzez istotnie mniejszą utratę materiału podbudowy.^{19,25}

W modyfikacji powierzchni ceramicznych zastosowanie znajduje również laser Erb:Yag. Laser CO₂ okazuje się w tym zastosowaniu

nieefektywny.^{31,32} Podstawowym celem zastosowania lasera na powierzchniach ceramicznych jest wykorzystanie energii jego promienia do gwałtownego podgrzania i mikroeksplozji szklanej części ceramiki, co skutkuje schropowaniem powierzchni i zwiększa możliwości zwilżania i penetracji żywicy systemu adhezyjnego.^{20,31,33} Badania *Hakimaneh* i wsp.³¹ wykazały, że użycie lasera generuje podobną siłę wiązania co wytrawianie kwasem fluorowodorowym, jednakże wielu badaczy neguje to stanowisko, argumentując to tym, że ceramika jako materiał o wysokiej odbijalności nie absorbuje wystarczającej ilości energii laserowej.^{20,26,33}

W zapewnieniu adhezji do metalu używa się laserów Nd:Yag (laser neodymowo-yagowy) lub Xe:Cl (laser ekscymerowy).^{9,14,26,34} Promień lasera zaaplikowany na powierzchnię metalu powoduje punktowe mikroeksplozje i gwałtowne podgrzanie okolicy jego działania. Po ochłodzeniu tworzą się naprężenia, które skutkują powstawaniem mikropęknięć widocznych w SEM.^{26,35} Z uwagi na jego punktowe działanie nie da się opracować nim całej powierzchni metalu, co znajduje odzwierciedlenie w wynikach testów wytrzymałości połączenia metalowo-kompozytowego. Samo użycie lasera Nd:Yag nie jest wystarczające do zapewnienia lepszego efektu niż piaskowanie.^{14,26,35} Inaczej sytuacja wygląda w laserach Xe:Cl. Badania *Murray* i wsp. wykazały, że siła adhezji osiągnięta przez laser Xe:Cl przewyższa abrazyję, zaś kombinacja abrazyji z zastosowaniem lasera o średniej mocy wiązki skutkuje 3-krotnym wzrostem siły adhezji w porównaniu do samej abrazyji powietrznej.³⁴ Modyfikacją zastosowania lasera jest technika *silca lased*. Polega ona na nałożeniu na ekspozowaną powierzchnię metalu papki z opakowanego materiału ceramicznego i aktywacji jej laserem. W założeniu laser ma zapewnić wtopienie się ceramiki w podbudowę metalową. Metoda ta jednak nie jest jeszcze wystarczająco

dobrze zbadana, a wyniki jej zastosowania są diametralnie różne.^{14,35}

Chemiczne metody modyfikacji powierzchni

Najpowszechniejszą chemiczną metodą rozwinięcia powierzchni jest jej wytrawianie kwasem. Procedura taka stosowana jest z powodzeniem w stomatologii zachowawczej i pozwala uzyskać siły adhezji do szkliwa na poziomie 16-20 MPa.³⁰ Metoda ta jest użyteczna tylko wobec materiału ceramicznego. Powierzchnia metalu jest bowiem oporna na wytrawianie standardowymi wytrawiaczami dostępnymi w stomatologii. Stopy metali używane w stomatologii wymagają specjalnych wytrawiaczy do metalu opartych na kwasie azotowym (V), kwasie fluoro- i chlorowodorowym. Przykładem takiego wytrawiacza jest Met-Etch (Met-Etch, Gresco Products Inc., Stafford, USA). Są to związki niezwykle niebezpieczne i toksyczne, których użycie w jamie ustnej pacjenta jest wykluczone.³⁶

Powierzchnię porcelany kondycjonuje się za pomocą wytrawiacza do porcelany, który chemicznie jest kwasem fluorowodorowym o stężeniu 5-10%. Aplikuje się go na okres od 20 s do nawet do 20 min w zależności od rodzaju ceramiki.^{1,17,21} Wyższa zawartość procentowa glinu w ceramice determinuje dłuższy czas wytrawiania.²

Działanie kwasu fluorowodorowego polega na rozpuszczaniu matrycy szklanej składającej się głównie z tlenku krzemu.^{1,3,19,21} W obrazach SEM widoczne są rozległe szczeliny i tunele powstałe w wyniku roztworzenia tlenku krzemu oraz nienaruszone kryształy leucytu bądź dwukrzemianu litu, będące odporne na działanie kwasu fluorowodorowego.^{21,31,37} Powierzchnia po wytrawieniu kwasem fluorowodorowym jest bardzo chropowata i ma duży potencjał do zwilżania. W szczeliny może wpływać żywica kompozytowa zapewniając retencję mikromechaniczną na wysokim poziomie.^{2,13,21}

Liczne badania negują konieczność kondycjonowania powierzchni ceramiki z użyciem

kwasu fluorowodorowego, z uwagi na to, że jest substancją niezwykle niebezpieczną i toksyczną.^{2,22,23,37} By zapewnić bezpieczeństwo konieczne jest stosowanie koferdamu, precyzyjne nanoszenie na powierzchnię, ostrożne stosowanie dmuchawki wodno-powietrznej, stosowanie ssaków wysokiej mocy i zapobieganie jakimkolwiek przeciekowi na błony śluzowe.^{1,2,38}

W piśmiennictwie można odnaleźć sprzeczne doniesienia co do zasadności użycia kwasu fluorowodorowego.^{1,3,37} Wprawdzie naprawy wykonane z jego użyciem osiągają największe wartości w testach wytrzymałości sięgające nawet 29,9 MPa³⁰, lecz używanie innych środków wystawiających ma skuteczność porównywalną do kwasu fluorowodorowego.^{1,17,18} Alternatywnymi środkami, które mogą służyć uzdatnianiu powierzchni naprawy jest APF (zakwaszony fluorofosforan) i kwas fosforowy (v).

APF jest związkiem stosowanym w profilaktyce próchnicy. Jego kwaśny odczyn powoduje niewielkie trawienie szkliwa, naprawiane poprzez tworzenie fluoroapatytów. Znajduje on jednak także zastosowanie w naprawach bezpośrednich ceramiki. Stosowany jest w stężeniu 1,23 %. Wymaga znacznie dłuższego czasu trawienia w porównaniu do HF (ang. Hydrofluoric acid - kwas fluorowodorowy).³⁸ W badaniach mikroskopii elektronowej ceramika trawiona za pomocą APF wykazuje znacznie uboższą morfologię porównując ją do wzorów trawienia kwasu fluorowodorowego.^{21,37} Inny jest również mechanizm działania. O ile HF roztwarza szklaną matrycę, to APF łącząc się selektywnie do jonów sodowych powoduje dezintegrację wiązań w obrębie ceramiki szklanej i powstawanie niewielkich zagłębień.¹ Jednakże mimo innej morfologii jego skuteczność w wytwarzaniu retencji mikromechanicznej jest porównywalna ze skutecznością kwasu fluorowodorowego, choć uzyskiwane wartości sił adhezji wykazują większe odchylenie standardowe, co

może sugerować mniejszą przewidywalność efektu naprawy.³⁸

W adhezyjnym łączeniu ceramiki i kompozytu może być pomocny również kwas fosforowy (V). Stosuje się go w stężeniach 35-40%. Wytrawianie kwasem fosforowym (V) nie powoduje jakichkolwiek zmian mikroskopowych w obrazie powierzchni ceramiki, może jednak służyć do oczyszczania powierzchni po obróbce mechanicznej.^{3,4,23}

Za chemiczne połączenie ceramiki z kompozytem odpowiada silan. Silany są cząsteczkami, które pozwalają na połączenie fazy nieorganicznej z organicznymi żywicami materiałów kompozytowych.^{1,9,15,19,28} Użycie silanu obniża napięcie powierzchniowe i pozwala zapłynąć żywicy kompozytu w mikroporowatości wytworzone metodami mechanicznymi.^{1,2,21} Jego zastosowanie istotnie poprawia wielkość siły wiązania adhezyjnego.

Cząsteczka silanu na jednym końcu posiada zazwyczaj grupę metakrylanową, która wiąże się z organicznymi żywicami zawartymi w materiałach kompozytowych, na przeciwległej stronie znajduje się grupa funkcyjna zawierająca krzem, która wiąże się chemicznie z ceramiką.²¹ Hydrofobowe końce silanu wiążą się do powierzchni ceramiki za pomocą wiązań siloksanowych.^{1,3,18,28} Wadą silanów jest ich wrażliwość na wilgoć. Wraz z upływem czasu w środowisku wilgotnym silany ulegają hydrolizie, co niesie za sobą ryzyko ponownego uszkodzenia odbudowy protetycznej.²

W latach 70-tych dominował pogląd, że samo użycie silanu zapewnia odpowiednią siłę połączenia kompozytu z ceramiką.² W świetle współczesnej wiedzy wiadomo, że mimo faktu, iż większość sił adhezji pochodzi z chemicznego wiązania, w którym pośredniczy silan, brak retencji mikromechanicznej uniemożliwia skuteczną naprawę uzupełnienia. Liczne badania wykazały konieczność stosowania równoległych dwóch metod w naprawach stałych uzupełnień protetycznych.^{15,17,19,20,23,31}

Silan nie jest skuteczny w przypadku łączenia się z metalową podbudową głównie z powodu znacznie niższej zawartości krzemu, z którym mógłby wytworzyć wiązanie siloksanowe (metal - 1,5%, porcelana feldszpatowa 50-60%).²² Może być jednak stosowany w połączeniu z metodą abrazyj tribochemicznej. W wyniku zastosowania partykuł z dodatkiem związków krzemu zmianie ulega skład wierzchniej warstwy metalowej podbudowy (zawartość krzemu osiąga 14-20%), co pozwala na użycie silanu.^{22,25,28,29}

Z uwagi na trudności połączenia adhezyjnego metalu z innymi materiałami, opracowano szczególnie rodzaj żywicy nazywany primerami do metalu. Najważniejszą częścią primerów są ich monomery funkcjonalne. Pierwszą substancją użytą w tym zastosowaniu był roztwór monomeru funkcjonalnego 4-MET (kwas 4-[2(metakryloiloksy)etoksykarbonylo]ftalowy) wykorzystywany w niektórych dostępnych na rynku primerach.^{39,40} Podobnie jak cząsteczki silanu składają się z 2 grup funkcjonalnych, spośród których jedna łączy się z powierzchnią metalu a druga z materiałem żywicy kompozytowej. Środkowa część primera powinna mieć hydrofobowy charakter, gdyż wpływa to na zdolność do przetrwania w wilgotnym środowisku jamy ustnej.^{9,40-42}

Primery mogą zawierać jeden lub więcej monomerów funkcjonalnych. Większa liczba monomerów wpływa korzystnie na uniwersalność danego primera, gdyż każdy monomer osiąga swoją skuteczność przy zastosowaniu określonego stopu metalu. Monomery stosowane do napraw uzupełnień z metali szlachetnych są nieprzydatne w naprawach uzupełnień z metali nieszlachetnych, dlatego też na rynku dostępne są coraz liczniej primery 2-funkcyjne, które zawierają monomery zawierające siarkę (skuteczne wobec metali szlachetnych) oraz monomery zawierające grupę fosforanową lub karboksylową (skuteczne wobec metali nieszlachetnych).⁴⁰⁻⁴² Poniżej przedstawiono krótką

charakterystykę wybranych monomerów stosowanych w primerach do metalu. 4-MET (kwas 4-[2(metakryloiloksy)etoksykarbonylo]ftalowy) – cząsteczka zawierająca 2 grupy karboksylowe, mające zdolność do połączenia się z tlenkami metalu, połączone z grupą aromatyczną. Ma kwasowe właściwości i zapewnia zwiększenie zwilżalności materiałów takich jak amalgamat czy złoto^{9,19,22,43} Był pierwszym monomerem użytym do rozwinięcia adhezyjnego połączenia metalu z kompozytem.³⁹ MAC-10 (kwas [1-metakryloksy-1,1-undekanokarboksylowy]) – jest monomerem zawierającym grupy karboksylowe. Z powodu długiej części między grupami funkcyjnymi jest odporny na hydrolizę. Jego grupy karboksylowe łączą się bardzo silnie z tlenkami chromu; siła połączenia nie spada nawet po termocyklingu.^{40,43} 10-MDP (dwuwodorofosforan 10-metakryloiloksydecylu) – posiada w swojej budowie grupę diwodorofosforanową, która ma właściwości wytrawiające i pozwala na ustanowienie wiązań jonowych z tlenkami metalu (szczególnie silne połączenie z tlenkami chromu). Na drugim końcu cząsteczki zlokalizowana jest grupa metakrylanowa odpowiadająca za wiązanie z żywicą kompozytu.^{6,9,15,19,40,42-44} Może służyć do poprawiania adhezji do metalu, ceramiki jak również tlenku cyrkonu.⁴⁰ 6-MHPA (fosfonooctan 6-metakryloiloksyheksylu) – ma właściwości podobne do 10-MDP dzięki zawartości grupy fosforanowej, reaguje z tlenkami na powierzchni metalu.^{40,42} VBATDT (6-[4-winylobenzylo-n-propylo]amino-1,3,5-triazyno-2,4-dition) – zawiera w swoim składzie siarkę w postaci grupy tionowej, która oddziałuje na atomy metalu szlachetnego i zapewnia chemiczne połączenie. Na przeciwnym końcu grupa winylowa zapewnia chemiczne wiązanie z żywicą kompozytową.^{40,41} MTU-6 (2-tiouracyl-5-karboksylan 6-metakryloiloksyheksylu) – jest monomerem tiouracylu. Posiada grupę heksylową, która zapewnia chemiczne połączenie metalu i żywicy kompozytowej.^{40,41}

Metaanaliza przeprowadzona przez *Shirani* i wsp.⁹ pokazała, że najlepsze rezultaty osiągnięte są w wyniku użycia kombinacji różnych monomerów. W grupie, która poddawana była termocyklingowi najlepsze rezultaty uzyskano w wyniku zastosowania primera zawierającego związki fosforanowe i 4-MET, z następczym nałożeniem silanu; w grupie bez termocyklingu najlepsze okazały się monomery fosforanowe. W przypadku metali szlachetnych również lepiej stosować jest primer, w których połączono monomery z różnych grup.^{40,45} Niezależnie jednak od nowoczesnych i udoskonalanych metod naprawy uzupełnień metalowo-ceramicznych, w niektórych przypadkach istnieją wskazania do wykonania specjalistycznych szyn ochronnych, użytkowanych przez pacjenta w celu przeciwdziałania opisywanym wyżej uszkodzeniom, jako skuteczny środek prewencyjny.^{46,47}

Podsumowanie

Naprawy stałych uzupełnień protetycznych, stanowiąc alternatywę dla wymiany uzupełnienia, wpisują się w trend stomatologii minimalnie inwazyjnej. Największym wyzwaniem w stosowaniu tego rozwiązania jest uzyskanie odpowiedniej siły adhezji, która umożliwiłaby długoczasowe utrzymanie naprawy. Siła adhezji jaka jest wymagana do utrzymania się wypełnienia zależy od wielu czynników i jest zmienna w czasie. Aby osiągnąć sukces w naprawie stałego uzupełnienia protetycznego należy dążyć do osiągnięcia jak największej możliwej do uzyskania siły adhezji. Kombinacja metod mechanicznych i chemicznych modyfikacji powierzchni, połączona z wyborem odpowiedniego materiału wypełnieniowego i właściwą techniką pracy powinna skutkować długotrwałym sukcesem klinicznym. Warunkiem osiągnięcia sukcesu jest jednak nie tylko właściwa technika wykonania zabiegu. Kluczową rolę odgrywa

odpowiednia kwalifikacja pacjenta. Naprawa uszkodzenia powstałego w wyniku parafunkcji i zaburzeń układu ruchowego narządu żucia, bez względu na zastosowane środki poprawiające adhezję skazana jest zwykle na niepowodzenie.

Piśmiennictwo

1. *Blum IR, Jagger DC, Wilson NH*: Defective dental restorations: to repair or not to repair? Part 2: All-ceramics and porcelain fused to metal systems. *Dent Update* 2011; 38(3): 150-152, 154-156, 158.
2. *Ozcan M*: Evaluation of alternative intra-oral repair techniques for fractured ceramic-fused-to-metal restorations. *J Oral Rehabil* 2003; 30(2): 194-203.
3. *Reston EG, Filho SC, Arossi G, Cogo RB, Rocha Cdos S, Closs LQ*: Repairing ceramic restorations: final solution or alternative procedure? *Oper Dent* 2008; 33(4): 461-466.
4. *Kalra A, Mohan MS, Gowda EM*: Comparison of shear bond strength of two porcelain repair systems after different surface treatment. *Contemp Clin Dent* 2015; 6(2): 196-200.
5. *Galiatsatos AA, Galiatsatos PA*: Clinical evaluation of fractured metal-ceramic fixed dental prostheses repaired with indirect technique. *Quintessence Int* 2015; 46(3): 229-236.
6. *dos Santos JG, Fonseca RG, Adabo GL, dos Santos Cruz CA*: Shear bond strength of metal-ceramic repair systems. *J Prosthet Dent* 2006; 96(3): 165-173.
7. *Galiatsatos AA*: An indirect repair technique for fractured metal-ceramic restorations: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2005; 93(4): 321-323.
8. *Ozcan M, Niedermeier W*: Clinical study on the reasons for and location of failures of metal-ceramic restorations and survival of repairs. *Int J Prosthodont* 2002; 15(3): 299-302.

9. *Shirani F, Kianipour A, Rahbar M*: The Effect of Mechanical and Chemical Surface Preparation Methods on the Bond Strength in Repairing the Surface of Metal-Ceramic Crowns with Composite Resin: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Maedica (Bucur)* 2020; 15(2): 206-223.
10. *Gasiuk P, Kucharski Z*: Direct technique to repair a ceramic crown using its fractured part. A case report. *Prosthodont* 2016; 66(2): 121-125.
11. *Wady AF, Paleari AG, Queiroz TP, Margonar R*: Repair technique for fractured implant-supported metal-ceramic restorations: a clinical report. *J Oral Implantol* 2014; 40(5): 589-592.
12. *Gresnigt M, Magne M, Magne P*: Porcelain veneer post-bonding crack repair by resin infiltration. *Int J Esthet Dent* 2017; 12(2): 156-170.
13. *Garbelotto LGD, Fukushima KA, Ozcan M, Cesar PF, Volpato CAM*: Chipping of veneering ceramic on a lithium disilicate anterior single crown: Description of repair method and a fractographic failure analysis. *J Esthet Restor Dent* 2019; 31(4): 299-303.
14. *Madani AS, Astaneh PA, Nakhaei M, et al.*: Effectiveness of silica-lasing method on the bond strength of composite resin repair to Ni-Cr alloy. *J Prosthodont* 2015; 24(3): 225-232.
15. *Jain S, Parkash H, Gupta S, Bhargava A*: To evaluate the effect of various surface treatments on the shear bond strength of three different intraoral ceramic repair systems: an in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc* 2013; 13(3): 315-320.
16. *Ozcan M*: How to repair ceramic chipping or fracture in metal-ceramic fixed dental prostheses intraorally: step-by-step procedures. *J Adhes Dent* 2014; 16(5): 491-492.
17. *Kupiec KA, Wuertz KM, Barkmeier WW, Wilwerding TM*: Evaluation of porcelain surface treatments and agents for composite-to-porcelain repair. *J Prosthet Dent* 1996; 76(2): 119-124.
18. *Mohammadi N, Shakur Shahabi M, Kimyari S, Pournagi Azar F, Ebrahimi Chaharom ME*: Shear Bond Strengths of Methacrylate- and Silorane-based Composite Resins to Feldspathic Porcelain using Different Adhesive Systems. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2015; 9(3): 181-187.
19. *Yoo JY, Yoon HI, Park JM, Park EJ*: Porcelain repair – Influence of different systems and surface treatments on resin bond strength. *J Adv Prosthodont* 2015; 7(5): 343-348.
20. *Shiu P, De Souza-Zaroni WC, Eduardo Cde P, Youssef MN*: Effect of feldspathic ceramic surface treatments on bond strength to resin cement. *Photomed Laser Surg* 2007; 25(4): 291-296.
21. *Kanat B, Comlekoglu ME, Comlekoglu MD, Culha O, Ozcan M, Gungor MA*: Microshear bond strength and finite element analysis of resin composite adhesion to press-on-metal ceramic for repair actions after various conditioning methods. *J Adhes Dent* 2014; 16(1): 63-70.
22. *Gourav R, Ariga P, Jain AR, Philip JM*: Effect of four different surface treatments on shear bond strength of three porcelain repair systems: An in vitro study. *J Conserv Dent* 2013; 16(3): 208-212.
23. *Kussano CM, Bonfante G, Batista JG, Pinto JH*: Evaluation of shear bond strength of composite to porcelain according to surface treatment. *Braz Dent J* 2003; 14(2): 132-135.
24. *Kurtzman GM, Schneider AL*: A technique for repair of a fractured porcelain-fused-to-metal bridge. *Dent Today* 2006; 25(1): 94-95.
25. *Kern M, Thompson VP*: Sandblasting and silica-coating of dental alloys: volume loss, morphology and changes in the surface composition. *Dent Mater* 1993; 9(3): 151-161.
26. *Kunt GE, Guler AU, Ceylan G, Duran I, Ozkan P, Kirtiloglu T*: Effects of Er:YAG la-

- ser treatments on surface roughness of base metal alloys. *Lasers Med Sci* 2012; 27(1): 47-51.
27. *Agustin-Panadero R, Mateos-Palacios R, Roman-Rodriguez JL, Sola-Ruiz MF, Fons-Font A*: Influence of surface preparation on fracture load of resin composite-based repairs. *J Clin Exp Dent* 2015; 7(1): e80-83.
28. *Matinlinna JP, Vallittu PK*: Bonding of resin composites to etchable ceramic surfaces – an insight review of the chemical aspects on surface conditioning. *J Oral Rehabil* 2007; 34(8): 622-630.
29. *Sun R, Suansuwan N, Kilpatrick N, Swain M*. Characterisation of tribochemically assisted bonding of composite resin to porcelain and metal. *J Dent* 2000; 28(6): 441-445.
30. *Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Dunne JT, Jr*: Shear bond strengths of 2 intraoral porcelain repair systems to porcelain or metal substrates. *J Prosthet Dent* 2001; 86(5): 526-531.
31. *Hakimaneh SMR, Shayegh SS, Ghavami-Lahiji M, Chokr A, Moraditalab A*: Effect of Silane Heat Treatment by Laser on the Bond Strength of a Repair Composite to Feldspathic Porcelain. *J Prosthodont* 2020; 29(1): 49-55.
32. *Kasraei S, Rezaei-Soufi L, Heidari B, Vafae F*: Bond strength of resin cement to CO2 and Er:YAG laser-treated zirconia ceramic. *Restor Dent Endod* 2014; 39(4): 296-302.
33. *Sadeghi M, Davari A, Abolghasami Mahani A, Hakimi H*: Influence of Different Power Outputs of Er:YAG Laser on Shear Bond Strength of a Resin Composite to Feldspathic Porcelain. *J Dent (Shiraz)* 2015; 16(1): 30-36.
34. *Murray AK, Attrill DC, Dickinson MR*: The effects of XeCl laser etching of Ni-Cr alloy on bond strengths to composite resin: a comparison with sandblasting procedures. *Dent Mater* 2005; 21(6): 538-544.
35. *sadat Madani A, Astaneh PA, Shahabi S, Nakhaei MR, Bagheri HG, Chiniforush N*: Influence of different power outputs of intraoral Nd:YAG laser on shear bond strength of a resin cement to nickel-chromium dental alloy. *Lasers Med Sci* 2013; 28(1): 229-234.
36. *Schneider W, Powers JM, Pierpont HP*: Bond strength of composites to etched and silica-coated porcelain fusing alloys. *Dent Mater* 1992; 8(3): 211-215.
37. *Tylka DF, Stewart GP*: Comparison of acidulated phosphate fluoride gel and hydrofluoric acid etchants for porcelain-composite repair. *J Prosthet Dent* 1994; 72(2): 121-127.
38. *Ozcan M, Allahbeickaraghi A, Dundar M*: Possible hazardous effects of hydrofluoric acid and recommendations for treatment approach: a review. *Clin Oral Investig* 2012; 16(1): 15-23.
39. *Tanaka T, Nagata K, Takeyama M, Atsuta M, Nakabayashi N, Masuhara E*: 4-META opaque resin--a new resin strongly adhesive to nickel-chromium alloy. *J Dent Res* 1981; 60(9): 1697-1706.
40. *Nima G, Ferreira PVC, Paula AB, Consani S, Giannini M*: Effect of Metal Primers on Bond Strength of a Composite Resin to Nickel-Chrome Metal Alloy. *Braz Dent J* 2017; 28(2): 210-215.
41. *Yoshida K*: Effect of Sulfur-Containing Primers for Noble Metals on the Bond Strength of Self-Cured Acrylic Resin. *Dent J (Basel)* 2017; 5(2).
42. *Ikemura K, Tanaka H, Fujii T, et al.*: Design of a new, multi-purpose, light-curing adhesive comprising a silane coupling agent, acidic adhesive monomers and dithiooctanoate monomers for bonding to varied metal and dental ceramic materials. *Dent Mater J* 2011; 30(4): 493-500.
43. *Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, et al.*: Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28(26): 3757-3785.
44. *Yadav JS, Dabas N, Bhargava A, Malhotra P, Yadav B, Sehgal M*: Comparing two intraoral porcelain repair systems for shear

- bond strength in repaired cohesive and adhesive fractures, for porcelain-fused-to-metal restorations: An in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc* 2019; 19(4): 362-368.
45. *Taira Y, Kamada K*: Effects of primers containing sulfur and phosphate monomers on bonding type IV gold alloy. *J Dent* 2008; 36(8): 595-599.
46. *Gawlak D, Łuniewska J, Hovhannisyan A, Łuniewska M, Mańka-Malara K*: Assessment of the influence of diving on damage to prosthetic restorations, preventive dental materials and tooth tissues. *Prosthodontics* 2015; 65(6): 540-547.
47. *Mańka-Malara K, Łuniewska J, Łuniewska M, Hovhannisyan A, Mierzwińska-Nastalska E, Gawlak D*: Analysis of factors determining athletes' choice of the type of mouthguard. *Prosthodontics* 2018; 68(1): 16-31.

Zaakceptowano do druku: 23.02.2022 r.

Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binieckiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2022.