**Autorzy:**

dr n. med., stomatolog Florian Beuer  
tech. dent. Josef Schweiger  
kierownik laboratorium dentystycznego  
Susanna Mlaka  
dr n. med. Michael Stimmelmayr  
dr n. med. Jan-Frederik Güth

**Tłumaczenie:**

Agnieszka Korzec - Biesik

**Hasła indeksowe:**

ścieranie, CAD/CAM, odpryskiwanie,  
licowanie ceramiką, leucyt,  
dwutlenek cyrkonu

# Odpryskiwanie ceramiki na podbudowach cyrkonowych

Na frezarce sterowanej numerycznie wykonano w sumie 50 identycznych podbudów z dwutlenku cyrkonu (Cara Process ZrO<sub>2</sub> B light – Heraeus) i polowano je pięcioma różnymi materiałami ceramicznymi. W każdej grupie badano dziesięć identycznych uzupełnień. Wszystkie uzupełnienia zostały zamocowane za pomocą półtrwałego kleju na plastikowym kikutie umieszczonym w elastycznej masie, a następnie sztucznie postarzone przy użyciu zęba przeciwstawnego wykonanego z dwutlenku cyrkonu pokrytego glazurą. Starzenie przeprowadzono w symulatorze żucia zgodnie z ustalonym protokołem. Powierzchnie uzupełnień zostały następnie ocenione na podstawie arkusza wyników oraz ubytku uzupełnienia, a powierzchnie zęba przeciwstawnego zmierzono przy użyciu skanera. Uzyskane dane ocenia-

**Uzupełnienia na bazie dwutlenku cyrkonu są coraz częściej stosowane jako pojedyncze korony i mosty. Niestety, jednym z głównych problemów klinicznych tego typu uzupełnień jest pękanie ceramiki. Celem niniejszego badania była ocena pęknięć oraz ścierania licowanych ceramiką pojedynczych koron na podbudowie z dwutlenku cyrkonu i zębów przeciwstawnych, w zależności od rodzaju ceramik.**

no w odniesieniu do 5% poziomu istotności. Materiał HeraCeram Zirkonia wykazywał istotnie niższą tendencję do odpryskiwania w symulatorze żucia niż inne materiały (VM 9 – Vita Zahnfabrik, Cercon Ceram Kiss – DeguDent, Zirox – Wieland). Zastosowane materiały ceramiczne nie różniły się pod względem tendencji do ścierania, niemniej jednak rodzaj materiału ceramicznego miał wpływ na ścieranie zęba przeciwstawnego. Materiał HeraCeram Zirkonia wykazywał istotnie większe ścieranie niż pozostałe trzy materiały ceramiczne (VM 9 – Vita Zahnfabrik,

Cercon Ceram Kiss – DeguDent, Zirox – Wieland).

Wybór ceramiki do licowania miał wpływ na tendencję do odpryskiwania oraz na zachowanie abrazyjne badanych uzupełnień.

**Dwutlenek cyrkonu**

Dwutlenek cyrkonu jest powszechnie stosowany w protetyce jako materiał na podbudowy koron i mostów. Dostępne są już długoterminowe dane kliniczne, potwierdzające skuteczne stosowanie pojedynczych koron oraz mostów

liczących do czterech punktów [1–3].

Problemy wymieniane w pierwszych publikowanych badaniach dotyczyły głównie dopasowania podbudowy. Słabe dopasowanie podbudowy prowadziło do częstego występowania próchnicy wtórnej i w konsekwencji zachodziła konieczność wykonania nowych uzupełnień. Dzięki zmianom wprowadzonym w procesie wytwarzania podbudów z dwutlenku cyrkonu obecnie problem ten został rozwiązany. Wiele badań potwierdza dobre dopasowanie podbudów cyrkonowych tworzonych za pomocą nowoczesnych systemów projektowania komputerowego (CAD) oraz wytwarzania wspomaganego komputerowo (CAM) [3].

**Licowanie ceramiką**

Drugim problemem klinicznym, opisywanym praktycznie we wszystkich publikowanych do tej pory badaniach, jest odpryskiwanie materiałów ceramicznych. Odnotowano 30-procentowy poziom pęknięć po pięciu latach, jeśli ceramika była nakładana w sposób konwencjonalny z wykorzystaniem metody warstwowej [4]. Rozwój technologii licowania (np. ceramika prasowana wykonana w systemie CAD/CAM na podbudowę z dwutlenku cyrkonu lub spiekanie licówki z podbudową) przynosi lepsze rezultaty kliniczne [5].

Technika warstwowa jest standardową procedurą wykonywania koron na podbudowach z dwutlenku cyrkonu. Dodatkowo próby kliniczne oraz badania laboratoryjne, które można prowadzić w standardowych warunkach, dostarczają ważnych informacji. Na Uniwersytecie w Regensburgu w Niemczech opracowano eksperymentalną metodę, pozwalającą na wykonanie realistycznej symulacji odpryskiwania ceramiki [6]. Wzorce pęknięcia występujące w warunkach eksperymentalnych są bardzo podobne do wzorców pęknięcia w warunkach klinicznych.

**Przygotowanie próbek do badań**

Z uwagi na wykluczenie możliwości wpływu wynikającego z zastosowania różnych materiałów podbudowy za cel tego badania przyjęto wykonanie pojedynczych koron na identycznych podbudowach z dwutlenku cyrkonu, licowanych różnymi materiałami ceramicznymi. Następnie zbadano tendencję tych koron do pęknięcia po poddaniu ich sztuczemu starzeniu.

**Model**

Zgodnie z rekomendacjami opracowywania uzupełnień na podbudowach z dwutlenku cyrkonu przygotowano ząb trzonowy żuchwy i powielono go 50 razy w meta-krylanie metylu (PMMA, Paladur klar – Heraeus). Kikuty zostały uformowane z addytywnego silikonu sieciującego (Heraeus – Variotime Dynamix Heavy Tray oraz Light Flow) techniką podwójnego mieszania, a następnie formy zalano supertwardym gipsem zdatnym do skanowania (Hera Octa-Stone – Heraeus).

W celu zapewnienia mniej więcej odtwarzalnego kształtu korony oraz grubości warstwy ceramiki wcześniej wykonano z wosku prototyp zęba 36 (KaVo Everest – Scan Wax). Prototyp wraz z zębem przeciwstawnym 26 zamocowano na wosku w artykulatorze w celu uzyskania prawidłowej konfiguracji guzków

◀ **Fot. 1.** Obraz z elektronowego mikroskopu skaningowego nienaruszonej powierzchni po symulacji żucia:  
**Ocena 0.** Grupa HeraCeram Zirkonia, powiększenie 40x

◀ **Fot. 2.** Obraz z elektronowego mikroskopu skaningowego powierzchni z widocznym starciem po symulacji żucia:  
**Ocena 1.** Grupa HeraCeram Zirkonia, powiększenie 42x

◀ **Fot. 3.** Obraz z elektronowego mikroskopu skaningowego spękanej powierzchni po symulacji życia:  
**Ocena 2.** Grupa Zirox, powiększenie 46x

i bruzd. Następnie zmierzono grubość warstwy modelu woskowego – od 1,5 mm do 2 mm – za pomocą grubościomierza w 15 uprzednio wyznaczonych punktach.

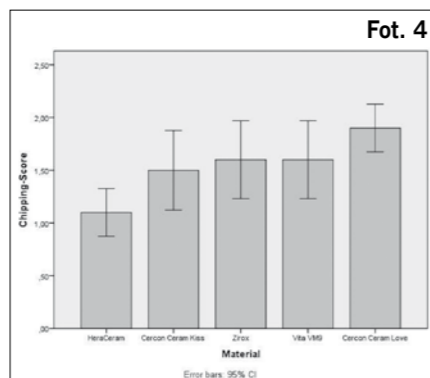
**Podbudowa**

Na frezarce sterowanej numerycznie (Cara – Heraeus) wykonano 50 podbudów z dwutlenku cyrkonu (Cara Process ZrO<sub>2</sub> B light – Heraeus). Za pomocą skanera laserowego (3Shape, Kopehnaga, Dania) przeskanowano modele kikutów w celu zdefiniowania brzegu opracowania, a następnie połączone prototypy woskowe. Podbudowy zostały zaprojektowane przy użyciu oprogramowania CAD (Dental Designer – 3Shape). Wszystkie parametry niezbędne do frezowania podbudów zostały wprowadzone zgodnie ze specyfikacją producenta. Na podstawie przeskanowanych kikutów oraz modeli woskowych oprogramowanie obliczyło anatomiczne ukształtowanie podbudowy korony (minimalna grubość warstwy: 0,5 mm, przestrzeń zgryzowa przeznaczona na licowanie ceramiką: 1,3 mm).

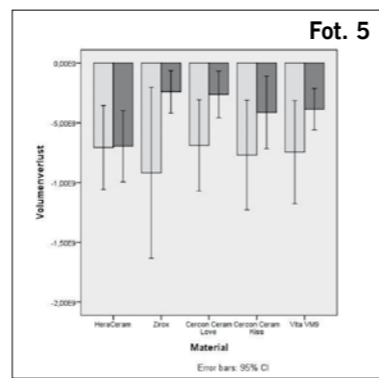
**Frezowanie, synteryzacja, przygotowanie do licowania**

Zapis danych wirtualnych dla każdej korony został przesłany do centrum frezowania. Podbudowę

**Fot. 4.** Średnie wyniki odpryskiwania w zależności od materiału. Słupek błędów wskazuje odchylenie standardowe



**Fot. 5.** Średni ubytek objętości badanych koron (jasne słupki) oraz zębów przeciwstawnych (ciemne słupki), w zależności od zastosowanego materiału. Słupek błędów wskazuje odchylenie standardowe



korony wyfrezowano 5-osiołą frezarką HSC (cięcie wysokoobrotowe) we wstępnie prefabrykowanym krążku cyrkonu, a następnie synteryzowanym w temperaturze 1500°C w piecu do synteryzacji przez 6 godzin. Wielkość frezowanej podbudowy w trakcie synteryzacji obkurcza się o dany % i uzyskuje perfekcyjny rozmiar. Po przejściu kontroli jakości podbudowy zostały odesłane z centrum frezowania. Gotowe podbudowy przygotowano do dopasowania przy użyciu ściernicy diamentowej Roring z turbiną chłodzoną wodą, pod stereomikroskopem, zgodnie z ustalonym protokołem. W celu uniknięcia naprężeń rozciągającego, które mogłyby negatywnie wpłynąć na ceramikę, wszystkie krawędzie podbudowy powstałe przy frezowaniu usunięto. Próbkę do badań przygotowano na 50 podbudowach opracowanych zgodnie z zaleceniami producentów. Ponieważ zgodnie z tymi zaleceniami piaskowanie podbudów cyrkonowych nie jest konieczne, wszystkie podbudowy zostały jedynie wyczyszczane wytwornicą pary.

#### Licowanie

W celu osiągnięcia dobrego dopasowania pomiędzy próbką a zębem przeciwstawnym wszystkie podbudowy licowane były w artykulatorze (SAM 2 PX). Po napaleniu linera zostały nałożone warstwy zębiny i masy siecznej (cut-back); wszystkie korony poddano pierwszemu napaleniu zębiny. Zmniejszona objętość wynikająca ze skurczu została uzupełniona w trakcie drugiego napalenia. Aby możliwe było uzyskanie mniej więcej odwrotnego kształtu koro-

ny oraz grubości warstw przy ręcznym licowaniu koron, wykonano całkowity wycisk z silikonu na podstawie przygotowanego prototypu woskowego jako nakładkę. Wszystkie licówki sprawdzono i skorygowano w artykulatorze po drugim napaleniu. Uzupełnienia sprawdzono pod kątem grubości warstwy: minimum 1,5 mm i maksimum 2,0 mm, za pomocą grubościomierza. Korony zostały opracowane gumkami i wyczyszczone wytwornicą pary w celu uzyskania jednorodnej powierzchni. Następnie nałożono i wypalono glazurę. Wykonano po 10 koron z następujących materiałów: Zirox (Wieland Dental and Technik, Pforzheim), VM 9 (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen), HeraCeram Zirkonia (Heraeus), Cercon Ceram Kiss (DeguDent, Hanau) oraz Cercon Ceram Love (DeguDent), zgodnie z zaleceniami producentów, w sposób opisany powyżej odnośnie do poszczególnych parametrów napalania. Wszystkie pojedyncze korony zamocowano na sztucznych kikutach za pomocą samolączającego, podwójnie utwardzalnego, uniwersalnego cementu kompozytowego (RelyX Unicem – 3M ESPE, Seefeld). W celu prawidłowej symulacji fizjologicznego ruchu naturalnych zębów 50 opracowanych i zacementowanych próbek umieszczono w materiale podobnym do tkanek przyzębia.

#### Obciążenie w symulatorze żucia

Po ustawieniu w symulatorze żucia Regensburg próbki poddano cyklicznemu obciążeniu termomechanicznemu. Pojedyncze korony zostały obciążone 1,2 mln cykli

żucia z częstotliwością 1,66 Hz oraz naciskiem 50 N. Ząb przeciwstawny z dwutlenku cyrkonu służył jako model dociskowy. W trakcie obciążenia próbki były przepłukiwane wodą destylowaną o różnej temperaturze (od 5°C do 55°C) w 6000 cykli w dwuminutowych odstępach. Proces symulacji żucia składający się z 1,2 mln cykli odpowiada naturalnemu ścieraniu przez okres 5 lat [7–9].

#### Sztuczne starzenie

Po sztucznym starzeniu wszystkie 50 próbek przeanalizowano pod bezokularowym mikroskopem wizyjnym (Mantis Compact – Vision Engineering Ltd., Surrey, Wielka Brytania). Rodzaje defektów zostały sklasyfikowane według kryteriów USPHS (Departament Publicznej Służby Zdrowia Stanów Zjednoczonych). Wizualnie nie naruszoną powierzchnię oceniono na 0, ocena 1 była przyznawana, jeżeli na powierzchni zwarciowej widoczne były oznaki starcia, możliwe do skorygowania przez polerowanie, a ocenę 2 przyznawano, gdy widoczne były pęknięcia na powierzchni zwarciowej, których nie dało się skorygować polerowaniem (fot. 1–3).

#### Analiza ścierania

Próbki i zęby przeciwstawne zostały zmierzone trójwymiarowo przed sztucznym starzeniem w symulatorze żucia oraz po starzeniu z użyciem skanera laserowego LaserScan 3D Pro (Willytec – Gräfelfing). Na podstawie danych z zapisów możliwe było przedstawienie

startych próbek oraz zębów przeciwstawnych w sposób graficzny i numeryczny. Obrazy próbek z elektronowego mikroskopu skaningowego zostały wykorzystane w analizie jakościowej, w celu zilustrowania procesu ścierania. Z każdej grupy próbek wybrano jedną koronę do badań wizualnych. Elektronowy mikroskop skaningowy (Quanta FEG 400 – FEI Company, Eindhoven, Holandia) pracował w trybie niskiej próżni w celu uniknięcia naruszenia próbek. Dane zostały następnie zaimportowane do programu statystycznego SPSS (SPSS 19.0 – SPSS Inc., Monachium).

#### Wyniki

Po przeprowadzeniu symulacji żucia materiał wykazywał istotny wpływ na odpryskiwanie ceramiki (ANOVA  $p = 0,006$ ). Mniejszą ilość odprysków odnotowano w ceramice

HeraCeram Zirkonia w porównaniu do Zirox ( $p = 0,017$ , najmniejsza istotna różnica – próba NIR), Cercon Ceram Kiss ( $p < 0,001$ , próba NIR) i Vita VM 9 ( $p = 0,017$ , próba NIR). Nie wykazano różnic statystycznych pomiędzy HeraCeram Zirkonia a Cercon Ceram Love ( $p = 0,055$ , próba NIR) (fot. 4). Wszystkie uzupełnienia wykazywały podobny ubytek objętości po sztucznym starzeniu (ANOVA  $p = 0,957$ ) (fot. 5). Istotne różnice wystąpiły natomiast w ścieraniu zęba przeciwstawnego (ANOVA  $p = 0,049$ ) (fot. 3). Materiał HeraCeram Zirkonia wykazywał istotnie większą ścieralność niż ceramika Zirox ( $p = 0,005$ , próba NIR), Cercon Ceram Kiss ( $p = 0,007$ , próba NIR) i Vita VM 9 ( $p = 0,05$ , próba NIR).

#### Dyskusja

Badane materiały ceramiczne wykazywały istotne różnice. War-

tości mechaniczne akrylu PMMA znacznie się różniły od materiałów naturalnych twardej tkanki zębnej pod kątem modułu sprężystości wzdłużnej: akryl PMMA – 6,8 GPa, a zębina – 18–20 GPa. Wspomniane różnice we właściwościach mechanicznych wpływają na pęknięcie koron z racji różnej wytrzymałości na siły niszczące oraz amortyzowania zmiennego obciążenia mechanicznego. Podbudowy koron zostały opracowane do kształtu anatomicznego, ponieważ taki kształt zapewniał lepsze podparcie oraz możliwość wykonania cieńszej warstwy ceramiki [11], dzięki czemu możliwe było ograniczenie pęknięcia [12–13].

#### Wykończenie powierzchni

Wykorzystanie kontrolnej formy silikonowej, a także pomiary za pomocą grubościomierza pozwoliły zapewnić dokładną wielkość

# Heraeus

## Idealne dla Ciebie. Ceramika HeraCeram.



**2 za 1** wymiana ceramiki!  
dla nowych klientów

Heraeus - biuro: ☎ / 📠 (33) 496 35 39, ✉ info-poland@heraeus.com, 🌐 www.heraeus-dental.pl

**HeraCeram 20 g - 98 pln / szt**

Kupując uzupełnienie ceramiki HeraCeram 20 g (dentyny, opakera lub incisalu), równocześnie oddając opakowanie uzupełniające ceramiki firmy konkurencyjnej, drugie uzupełnienie HeraCeram 20 g GRATIS (opakowanie ceramiki konkurencyjnej musi zawierać minimum 50% proszku)

**HeraCeram Zirkonia 20 g - 149 pln / szt**

Kupując uzupełnienie ceramiki HeraCeram Zirkonia 20 g (dentyny, opakera lub incisalu), równocześnie oddając opakowanie uzupełniające ceramiki firmy konkurencyjnej, drugie uzupełnienie HeraCeram Zirkonia 20 g GRATIS (opakowanie ceramiki konkurencyjnej musi zawierać minimum 50% proszku)

oraz grubość uzupełnienia. Niemniej jednak niemożliwe jest wykonanie dokładnie identycznych uzupełnień w przypadku licowania ręcznego.

Powstawanie defektów uzupełnienia nie jest zależne wyłącznie od grubości warstwy, lecz również od wykończenia powierzchni.

Wykonano końcowe napalenie glazury w celu uzyskania możliwie najgładszej powierzchni. Uzupełnienie nie było później szlifowane ani polerowane, dlatego ślady szlifowania i polerowania odgrywają mniejszą rolę jako przyczyna odpryskiwania w tych badaniach.

### Współczynnik rozszerzalności termicznej

Współczynniki rozszerzalności termicznej (CTE) podbudowy i ceramiki muszą być dopasowane, inaczej ceramika będzie pękać. Wszystkie zastosowane materiały zostały dopasowane do (CTE) dwutlenku cyrkonu. Materiały ceramiczne zawierające leucyt mogą wytwarzać leucyt wtórny pod wpływem wielokrotnego wypalania. Według Fairhurst [14] i Mackerta [15] występuje wtedy wzrost współczynnika rozszerzalności termicznej i potencjalna zmiana w zachowaniu pod kątem pęknięć. W trakcie badań wszystkie uzupełnienia zostały poddane w sumie czterem cyklom wypalania.

Jedynym materiałem ceramicznym zawierającym leucyt jest HeraCeram Zirkonia. Leucyt ten wykazuje stabilną strukturę leucytową (SLS), co oznacza, że nie zmienia się ona nawet po wielokrotnym wypaleniu. W tym przypadku nie ma obawy o zmianę CTE.

### Ścieranie

Anatomicznie ukształtowana korona z dwutlenku cyrkonu została przygotowana jako ząb przeciwstawny wykorzystywany w badaniach. Zastosowanie dwutlenku cyrkonu jako materiału na ząb przeciwstawny może wpływać na ilość odprysków uzupełnień. Naturalne szkliwo zęba powoduje mniejsze ścieranie

i mniej defektów powierzchni [7, 13, 16]. Niemniej jednak, z uwagi na zastosowanie takich samych zębów przeciwstawnych dla wszystkich badanych materiałów ceramicznych, można założyć taki sam wpływ we wszystkich grupach. Na początku symulacji żucia zarówno badana próbka, jak i ząb przeciwstawny miały gładką powierzchnię. Chropowacenie i ścieranie powierzchni zęba przeciwstawnego i uzupełnienia następowało w cyklach zwarciowych [13]. W tym badaniu wykonano symulację starzenia z zastosowaniem 1,2 mln cykli obciążenia pod naciskiem 50 N oraz 6000 cykli termicznych, w ramach których próbki przebywały na zmianę po 2 minuty w wodzie o temperaturze 5°C i w wodzie o temperaturze 55°C. Według literatury parametry te odpowiadają ścieraniu w jamie ustnej przez okres pięciu lat [7–8]. W celu zapewnienia porównywalności parametry przyjęto na podstawie wielu innych badań.

### Odpryskiwanie

Wykazano, że odpryskiwanie występuje szczególnie w przypadku dwóch materiałów, które nie zostały wzmocnione leucytem [17–18]. Na większą skalę odpryskiwały całe fragmenty, a różnica była jeszcze bardziej istotna ( $p = 0,006$ ). Znaczna różnica występowała pomiędzy materiałami Cercon Ceram Kiss i Zirox a HeraCeram Zirkonia. Można to wyjaśnić brakiem wzmocnienia leucytowego w Cercon Ceram Kiss i Zirox. Wydaje się, że w przypadku bezleucytowych

materiałów ceramicznych występuje trend większej podatności na odpryskiwanie niż w przypadku ceramiki zawierającej leucyt. Oprócz subiektywnej oceny powierzchni przez dwóch wykwalifikowanych badaczy zmierzono także ubytek wysokości i objętości. Okazało się, że wszystkie zbadane próbki wykazywały ubytek objętości po symulacji starzeniowej. Również w tym przypadku materiały bezleucytowe wykazywały najwyższy ubytek od strony uzupełnienia, który jednak nie jest widoczny w danych statystycznych (ANOVA  $p = 0,957$ ). W przypadku ścierania zębów przeciwstawnych można potwierdzić statystycznie istotną różnicę (ANOVA  $p = 0,049$ ). Na podstawie oceny zmiany objętości zębów przeciwstawnych można stwierdzić, że ścieranie zęba przeciwstawnego jest mniej więcej odwrotnie proporcjonalne do ścierania odpowiednich koron. Oznacza to, że im większe starcie korony, tym mniejsze starcie zęba przeciwstawnego.

### Podsumowanie

Uwzględniając ograniczenia badania, można wyciągnąć następujące wnioski:

- Wybór materiału ceramicznego ma istotny wpływ na odpryskiwanie ceramiki oraz ścieranie zębów przeciwstawnych.
- Materiały ceramiczne wzmocnione leucytem wykazują mniejszą tendencję do odpryskiwania niż materiały bezleucytowe. ■

Piśmiennictwo dostępne w Redakcji

### Korespondencja:



Florian  
Beuer



Josef  
Schweiger



Susanna  
Mlaka



Michael  
Stimmelmayer



Jan-Frederik  
GÜth

Poliklinika Protetyki Dentystycznej  
Szpital Uniwersytecki w Monachium  
Goethestr. 70, 80336 Monachium

Więcej informacji o autorach  
można znaleźć na stronie:  
[www.dlonline.de/autoren](http://www.dlonline.de/autoren)