

Szczelność brzeżna podbudowy ze stopu Cr-Co wykonanej przy użyciu różnych technik wytwarzania CAD-CAM – przegląd piśmiennictwa

Marginal adaptation of Cr-Co alloy crown framework made with the use of various CAD-CAM manufacturing techniques – review of the literature

Kamila Martyna Wróbel-Bednarz¹, Agnieszka Ochał², Aleksandra Sochańska²

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Department of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jolanta Kostrzewa-Janicka

² Studenckie Koło Naukowe, Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Students' Research Group, Department of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw

HASŁA INDEKSOWE:

technologia CAD/CAM, szczelność brzeżna, podbudowa korony

KEY WORDS:

CAD/CAM technology, marginal adaptation, crown framework

Streszczenie

Trwałość leczenia protetycznego z wykorzystaniem stałych uzupełnień protetycznych zależy między innymi od dwóch ważnych zmiennych: stopnia dokładności wykonania podbudowy protetycznej oraz szczelności brzeżnej uzupełnienia. Stopy Co-Cr stanowią podstawowy materiał służący do wykonywania stałych uzupełnień protetycznych złożonych. Nowoczesne laboratoria techniczne pracując w oparciu o system CAD/CAM oferują wykonanie podbudowy do koron protetycznych między innymi w technologii Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Inną możliwością wytwarzania uzupełnień stałych jest obróbka subtraktywna, a więc frezowanie metalu. Niezależnie od wybranej metody wytwarzania pracy protetycznej, czynnikiem determinującym długoterminowy sukces kliniczny jest precyzja wykonania. Wraz z rozwojem nowych technik oraz stosowanego oprogramowania CAD/CAM, występuje możliwość zautomatyzowania poszczególnych etapów, a przez to wyeliminowania niektórych błędów natury ludzkiej.

Summary

The permanence of prosthetic treatment with the use of fixed prosthetic restorations depends, inter alia, on two important variables: the accuracy of manufacture of the prosthetic substructure and the marginal adaptation of the restoration. Co-Cr alloys are the basic material for making fixed complex prosthetic restorations. Modern laboratories, working on the basis of the CAD / CAM system, offer the construction of the framework for prosthetic crowns, including the Direct Metal Laser Sintering (DMLS) technology. Another possibility of producing fixed restorations is subtractive machining, i.e. metal milling. Regardless of the chosen method of producing a prosthetic work, the precision of execution is the factor determining long-term clinical success. With the development of new techniques and the CAD/CAM software used, it is possible to automate individual stages, and thus eliminate some errors of the human factor. The analysed literature describes several protocols on the basis of which marginal

W analizowanym piśmiennictwie opisywanych jest kilka protokołów, w oparciu o które przeprowadzane są badania szczelności brzeżnej uzupełnień protetycznych na podbudowie ze stopu Cr-Co. Najczęściej jednak używaną techniką była metoda repliki, ze względu na jej szybkość, użyteczność i w wielu przypadkach brak konieczności zniszczenia badanych próbek. Szczelność brzeżna w granicy 120 µm jest uznana jako wartość akceptowalna klinicznie. W przeważającej większości opisywanych badań próby wykonane przy użyciu obu technik wytwarzania (DMLS i CNCM) osiągały akceptowalne, a nawet znacznie lepsze (< lub równe 70 µm) dopasowanie brzeżne oraz ukazywały wyższość nowych technologii wytwarzania nad konwencjonalnymi.

adaptation of prosthetic restorations on a Cr-Co alloy substructure is tested. However, the most frequently used technique was the replica method due to its speed, usefulness, and in many cases there is no need to destroy the tested samples. The marginal tightness of 120 µm is considered a clinically acceptable value. In the overwhelming majority of the described studies, the tests performed using both manufacturing techniques (DMLS and CNCM) achieved an acceptable and even much better (< or equal to 70 µm) marginal fit and demonstrated the superiority of new manufacturing techniques over conventional ones.

Wstęp

Wykorzystanie technologii cyfrowych staje się nieodłącznym etapem współczesnego postępowania klinicznego i laboratoryjnego w leczeniu protetycznym. Użycie skanerów wewnątrzustnych i cyfrowego projektowania prac protetycznych znacznie skraca całkowity czas terapii podnosząc komfort pacjenta oraz zmniejszając koszty procesu leczenia, a precyzyjne zaprojektowanie i wykonawstwo uzupełnień protetycznych jest podstawą długoczasowego powodzenia klinicznego.¹ W przypadku odbudowy korony zębów, które utraciły więcej niż 50% tkanek własnych, a także w przypadku zębów leczonych endodontycznie, stan obecnej wiedzy wskazuje na konieczność wykonania pośredniego uzupełnienia protetycznego dzięki czemu dochodzi do wyeliminowania skurczu polimeryzacyjnego pojawiającego się w metodzie odbudowy bezpośredniej z użyciem światłoutwardzalnych materiałów kompozytowych.^{2,3} Trwałość leczenia protetycznego z wykorzystaniem stałych uzupełnień protetycznych zależy między innymi od dwóch

ważnych zmiennych: stopnia dokładności wykonania podbudowy protetycznej oraz szczelności brzeżnej uzupełnienia. Przyjmuje się, że maksymalny wymiar szczeliny brzeżnej uzyskuje wartość graniczną 120 µm.⁴

Spośród materiałów przeznaczonych do odbudowy pośredniej oprócz ceramiek konstrukcyjnych, stopy metali szlachetnych i nieszlachetnych są nadal szeroko stosowane w wykonawstwie koron złożonych. Stopy Co-Cr stanowią podstawowy materiał służący do wykonywania stałych uzupełnień protetycznych. Cechują się wielofazową budową i są najtwardszymi spośród stopów dentystycznych. Są odporne na ścieranie i rozciąganie, a ich stopień wytrzymałości na rozciąganie pod wpływem sił zewnętrznych jest jedynie nieco niższy niż w przypadku utwardzonych stopów złota.⁵

W technice dentystycznej odlewnictwo przez lata stanowiło podstawę wykonawstwa metalowych konstrukcji protetycznych. Metoda ta złożona jest z wielu etapów, do których należy modelowanie z wosku, wytapianie wosku po zalaniu masą ogniotrwałą oraz wtlaczanie metalu do formy przez kanał

odlewniczy z wieloetapową obróbką następową. Metoda odlewnicza nie wymaga zaawansowanego sprzętu, jednak wiąże się z nią zasadnicze wady. Sukces procesu odlewnictwa zależy od zdolności manualnych i dokładności technika dentystycznego, przez co nie ma możliwości uzyskania powtarzalności z całkowitym wyeliminowaniem ryzyka błędu. W badaniach porównawczych *Seong-Bin* i wsp. jak i *Ki-Baek* i wsp. wykazali, że przyleganie brzeżne dla próbek wykonywanych tradycyjną metodą było gorsze niż dla próbek spiekanych.^{6,7} W pracy *Wang* i wsp. stwierdzono szczeliny i pęcherze powietrza między warstwą metalu a napaloną ceramiką, jak również największą podatność na zgięcie w metodzie odlewanej.⁸ Ponadto, jak wykazali *Szynkowska* i wsp., ze względu na powszechność wykorzystywania wcześniej przetopionego stopu przekłada się na przyspieszenie procesu korozji.⁹

Nowoczesne laboratoria techniczne pracując w oparciu o system CAD/CAM oferują wykonanie podbudowy do koron protetycznych w technologii Direct Metal Laser Sintering (DMLS), która wykorzystuje obróbkę addytywną. W metodzie tej podbudowa metalowa wytwarzana jest przez laserowe spiekanie proszków metali w kolejnych warstwach zgodnie z bitmapą wirtualnie zapisanego projektu uzupełnienia. Kolejną możliwością wytwarzania uzupełnień stałych jest obróbka subtraktywna, a więc frezowanie metalu. Połączenie powyższych technik doprowadziło do powstania hybrydowej metody wykonawstwa prac protetycznych, która z założenia ma pozwolić na redukcję wad wpisanych w stosowanie obu technik, z wydobyciem zalet płynących z każdej z nich.¹⁰

W pracy dokonano analizy dostępnej literatury polsko i anglojęzycznej z lat 2015-2020 dotyczącej oceny szczelności brzeżnej uzupełnień na przykładzie podbudów ze stopu chromowo-kobaltowego wykonanych przy

użyciu różnych cyfrowych technik wytwarzania w oparciu o oprogramowanie CAD/CAM. Wykorzystano do tego celu zasoby bazy medycznej PubMed.

Szczelność brzeżna

Niezależnie od wybranej metody wytwarzania pracy protetycznej, czynnikiem determinującym długoterminowe powodzenie kliniczne jest precyzja wykonania. W literaturze podaje się dwa główne kryteria warunkujące odpowiednią jakość wytwarzania, reprezentowane przez właściwe dopasowanie oraz szczelność brzeżną odbudowy. Jak podają *Savencu* i wsp., to właśnie ta ostatnia odpowiada za 10% niepowodzeń w trakcie leczenia stałymi uzupełnieniami protetycznymi. Nieprawidłowości w tym zakresie mogą wiązać się z ekspozycją cementu i jego kontaktem ze środowiskiem jamy ustnej, skutkując dezintegracją w czasie, mikroprzeciekami bakteryjnym i w konsekwencji wystąpieniem próchnicy, a nawet powikłań ze strony mięszki. Przestrzeń pomiędzy odbudową a filarem protetycznym może stanowić miejsce zalegania resztek pokarmowych, powodując zapalenie dziąseł oraz inne powikłania periodontologiczne. Brak odpowiedniej szczelności brzeżnej może doprowadzić w czasie do braku retencji uzupełnienia, odpryskiwania części licowej odbudowy, przebarwień brzeżnych, przyczyniając się w ten sposób do uszkodzeń w zakresie zarówno funkcji, jak i estetyki.¹¹ W literaturze nie występuje jednoznaczne określenie prawidłowych wartości dla szczelności brzeżnej stałych uzupełnień protetycznych. Jak podają *Mclean* i wsp. akceptowalną wielkością graniczną jest 120 µm, podczas gdy *Fraunhofer* rekomenduje wartość 100 µm.¹²

Uzupełnienia protetyczne na podbudowie metalowej cechują się bardzo dobrą szczelnością brzeżną. Jednakże, jak podaje piśmiennictwo, precyzja wykonania w tym zakresie jest znacznie mniejsza dla podbudów wykonanych ze stopów nieszlachetnych. Z wielu

jednak względów to właśnie te ostatnie są bardzo często wybierane z powodu niższych kosztów produkcji, biokompatybilność z tkankami jamy ustnej, a także możliwość wykonawstwa zarówno przy użyciu technik tradycyjnych, jak i technologii cyfrowych.¹³ Ze względu na powyższe właściwości, a także wysoką odporność mechaniczną, niezwykle często stosowanym w pracach protetycznych materiałem zarówno w technice traconego wosku, jak i cyfrowych jest stop chromowo-kobaltowy (Cr-Co).

Wraz z rozwojem nowych technik oraz stosowanego oprogramowania CAD/CAM, występuje możliwość zautomatyzowania poszczególnych etapów, a przez to wyeliminowania niektórych błędów natury ludzkiej, przyczyniając się w ten sposób do zwiększenia precyzji wykonawstwa prac protetycznych. Bowiern, jak podają *Savencui* i wsp. akceptowalna klinicznie szczelność brzeżna dla podbudów wykonanych przy użyciu systemu CAD/CAM mieści się w zakresie od 10 do 50 μm .^{11,14}

Nowe techniki wytwarzania w oparciu o oprogramowanie CAD/CAM

W miarę ciągłego rozwoju nowych technik obrazowania, projektowania i wytwarzania (CAD/CAM – Computer Aided Design/Computer Aided Manufacture), powstają coraz to doskonalsze możliwości wykonywania prac protetycznych w odniesieniu do konwencjonalnych metod traconego wosku.¹¹ W chwili obecnej, występują dwie główne metody obróbki metalurgicznej przy użyciu systemu CAD do cyfrowego skanowania oraz projektowania uzupełnienia protetycznego: frezowanie, a więc obróbka subtrakcyjna (CNCM – computer numerical control milling) oraz laserowe spiekanie proszków metali, stanowiące przykład wytwarzania addytywnego (DMLS – direct metal laser sintering).¹⁵

Procedura frezowania (CNCM) przy użyciu oprogramowania CAD/CAM to proces formowania kształtów z bloków materiału przy

użyciu specjalnego wiertła. W zależności od liczby możliwych osi oraz rozmiaru zastosowanego frezu, wytwarzane kształty mogą posiadać bardziej lub mniej złożoną geometrię oraz dokładność struktur.¹⁶ Jak podają *Zuskova* i wsp. najmniejsza średnica stosowanych frezów wynosi 1mm, co może stanowić ograniczenie w wytwarzaniu bardzo precyzyjnych elementów.¹⁵ Należy podkreślić, że technika subtrakcyjna łączy się również z dużym zużyciem samego materiału, gdyż elementy wycinane są z gotowych bloczków.^{16,17}

Technika laserowego spiekania tlenków metali (DMLS) jest metodą relatywnie nową. Proces ten polega na wytwarzaniu podbudowy metalowej przy użyciu wiązki lasera, skupiającej na podłożu proszki stopu Co-Cr, które następnie zgrzewane są w kolejno cienkie warstwy po schłodzeniu.¹⁸ Przeciwnie niż technika subtrakcyjna, metoda DMLS umożliwia wytwarzanie złożonych struktur w praktycznie dowolnym kształcie o różnej geometrii. Ponadto, wytworzone po zmieleniu materiały odpadowe, mogą być powtórnie wykorzystane, przyczyniając się do obniżenia kosztów produkcji.^{15,19}

Zarówno uzupełnienia protetyczne, wytwarzane metodą spieku laserowego (DMLS), jak i przy użyciu techniki frezowania (CNCM), aby zapewnić kliniczną akceptowalność muszą spełnić określone wymagania.²⁰ Jednym z najważniejszych kryteriów oceny dokładności wykonania stałego uzupełnienia protetycznego jest szczelność brzeżna odbudowy, przez co aspekt ten stał się tematem wielu badań.

Metody badania szczelności brzeżnej w analizowanym piśmiennictwie

Obecnie nie występuje jedna, standardowa metoda oceny precyzji wykonania i dokładności przylegania odbudowy do zęba filarowego. W analizowanym piśmiennictwie opisywanych jest kilka protokołów, w oparciu o które przeprowadzane są badania szczelności

brzeżnej uzupełnień protetycznych na podbudowie ze stopu Cr-Co.²¹ Jedną z technik wykonywania pomiarów jest bezpośrednia wizualizacja, w której po umieszczeniu konstrukcji protetycznej na filarze, przy użyciu mikroskopu stereoskopowego, w 40-krotnym powiększeniu wykonywano fotografie cyfrowe i mierzono dopasowanie w określonych punktach.²² Kolejną techniką jest wykonywanie mezialno-dystalnych przekrojów zacementowanych prac protetycznych, które następnie są mierzone i fotografowane za pomocą wideomikroskopu w 180-krotnym powiększeniu.^{23,24} Metodami obejmującymi pobieranie wycisku są technika repliki (ang. silicone replica technique) oraz technika ważenia, w których do odzwierciedlenia przestrzeni pomiędzy odbudową a modelem używa się masy silikonowej typu light body.¹³ Odmianą od wyżej wymienionych techniką jest postępowanie w badaniu *Zuskovej* i wsp., gdzie analizowane podbudowy ze stopu Cr-Co, a także ząb filarowy były poddane digitalizacji za pomocą skanera DS30, dzięki czemu przy wykorzystaniu stereoliteografii możliwe było matematyczne wyliczenie liczbowej wartości odchylenia w μm .¹⁵

Porównanie szczelności brzeżnej podbudów ze stopu Cr-Co wykonanych techniką frezowania oraz spiekania tlenków metali

W większości badań za hipotezę zero przyjęto brak wpływu metody wytwarzania na dopasowanie brzeżne podbudów ze stopu Cr-Co. Potwierdzenie powyższej hipotezy uzyskali w swoim badaniu *Zuskova* i wsp. Porównując technikę frezowania z laserowym spiekanem (SLS) w wykonawstwie podbudowy ze stopu Co-Cr, badacze wykonali model roboczy opracowanego wg ogólnie przyjętych standardów górnego prawego zęba trzonowego. Wykonano po 10 prób podbudów w każdej z dwóch technik. Wszystkie próby zostały zeskanowane do plików STL i przy użyciu programu GML zestawione z plikiem STL zęba

filarowego. Rozbieżności w dopasowaniu na granicy preparacji były przedstawiane jako mapy kolorów, składające się z tysięcy punktów danych zawierających numeryczne wartości błędów. Wyniki badania przedstawiły wartość 42,20 μm rozbieżności dopasowania dla grupy frezowanej i 42,24 μm dla grupy SLS. Niewielka różnica 0,04 μm pomiędzy wynikami, ukazuje brak wpływu metody wytwarzania na wartość szczelności brzeżnej odbudowy.¹⁵ Do podobnych wniosków doszedł *Kara*, który w badaniu jako filar opracował fantomowy model pierwszego trzonowca górnego, a następnie wykonano 60 podbudów ze stopu Co-Cr techniką traconego wosku, laserowego spiekania (SLS), bądź frezowania (20 prób w każdej grupie). Dysponując przekrojami podbudów zacementowanych na zębach filarowych na modelu roboczym, badanie wideomikroskopem wykazało brak statystycznej różnicy pomiędzy szczelnością brzeżną uzyskaną wszystkimi trzema metodami ($p > 0,05$). Wszystkie badane próby wykazały akceptowalne klinicznie dopasowanie brzeżne o wartości ($< 120 \mu\text{m}$).²³

Z kolei do wniosków kwestionujących dokładność nowych technik wytwarzania doszli w swoim artykule *Park* i wsp. posługując się 160-krotnym powiększeniem mikroskopu, badano szczelność brzeżną podbudów wykonanych ze stopu Cr-Co przy użyciu techniki frezowania, SLS i konwencjonalnej metody traconego wosku w 4 powtarzalnych punktach. Najmniejszą wartość luki brzeżnej zaobserwowano w grupie wykorzystującą technikę konwencjonalną (36,9 μm). Metoda frezowania wykazała nieco lepsze dopasowanie (63,2 μm) niż SLS (70,9 μm). Mimo, iż obie nowe techniki znalazły się w przedziale klinicznej akceptacji ($< 120 \mu\text{m}$), według badaczy powinny zdecydowanie zostać ulepszone.²⁵ Podobne wyniki otrzymali *Myung-Joo* i wsp., gdzie 36 podbudów metalowych ze stopu Cr-Co zostało wykonane w stosunku do

łącznika implantu techniką konwencjonalną, laserowego spiekania (SLS), bądź frezowania. Łącznik stanowił odzwierciedlenie pierwszego przedtrzonowca dolnego. Dopasowanie brzeżne było mierzone za pomocą techniki ważenia wycisku silikonowego, a pionową rozbieżność brzeżną badano w pięciu punktach na każdym zdjęciu wykonanym stereoskopowym mikroskopem z powiększeniem 40x. Szczelność brzeżna dla próbek wykonanych przy użyciu techniki SLS była gorsza (72,5 um) w porównaniu z metodami frezowania (51,5 um) i konwencjonalną (38,2 um). Jednak jak twierdzą badacze, wszystkie wartości niedopasowania można uznać za klinicznie akceptowalne, gdyż w przypadku uzupełnień cementowanych na implantach dopuszczalna luka brzeżna wynosi 150 um.²²

Yildirim i wsp. w swoim badaniu również wykorzystali jako filary tytanowe łączniki implantologiczne. Porównując wykonawstwo podbudów ze stopu Cr-Co metodą traconego wosku, frezowania metali i spiekania (SLS), wykonano 36 prób, po 12 w każdej technice. Do pomiarów wykorzystano technikę repliki. Wyniki powyższego badania mają charakter pośredni. Wykazały bowiem statystycznie niższą wartość szczelności brzeżnej dla techniki frezowania, w porównaniu z konwencjonalną techniką traconego wosku oraz DMLS. Natomiast jak zaznaczają autorzy, dopasowanie brzeżne nie różniło się statystycznie pomiędzy metodą konwencjonalną i laserowego spiekania tlenków metali.²⁷

Inne wnioski, na zdecydowaną korzyść nowych technik wytwarzania, zaprezentowali badacze z Uniwersytetu w Timisoarze (Rumunia). W ostatnich badaniach *Savencu* i wsp. porównywali podbudowy Cr-Co wykonane w sposób konwencjonalny, cyfrowego frezowania, SLS lub SLM. Jako filar w badaniu opracowano fantomowy pierwszy stały trzonowiec górny i wykonano 96 próbek koron, po 24 w każdej technice. Wybrano

dwa powtarzalne punkty pomiarowe na granicy preparacji i użyto techniki repliki z powiększeniem 20x. Badacze zaobserwowali najlepsze dopasowanie brzeżne dla techniki frezowania (47,2 um), a następnie dla metody SLS (63,0 um), w porównaniu ze znacznie gorszą wartością dopasowania dla podbudów otrzymanych techniką konwencjonalną (93,8 um).¹¹

Odmienne wyniki, choć również przemawiające za wyższością nowoczesnych technik wytwarzania, zaprezentowali badacze *Gunsoy* i wsp. Na podstawie wytworzonych przy pomocy druku 3D modeli roboczych filarowego przedtrzonowca i trzonowca, wykonano uzupełnienia na podbudowie ze stopu Cr-Co w 4 technikach: konwencjonalnej metody traconego wosku, frezowania z metodą traconego wosku, SLS oraz cyfrowego frezowania. Grubość warstwy cementu na szczelinie brzeżnej mierzono mikroskopem stereoskopowym o powiększeniu 24x. Wyniki badania wskazują jednoznacznie na najlepsze dopasowanie brzeżne podbudów wykonanych techniką DMLS.²⁸ Podobne wyniki, na korzyść techniki SLS, uzyskali badacze z Uniwersytetu w Stambule. W jednym z najnowszych badań *Kara* dowiódł, że podbudowy wykonane metodą frezowania Co-Cr wykazały znacznie większą lukę brzeżną (82,2 um) w porównaniu do metody SLS (44,8 um), mimo iż obie techniki wykazują akceptowalną klinicznie szczelność brzeżną (<120 um).²⁴ W badaniach *Vojdani* i wsp. również wykazani lepsze wyniki dla technik konwencjonalnych stawiając tym samym wniosek, że nowe technologie oparte na systemach CAD/CAM wymagają dalszego rozwoju i poprawy jakości procesu.²⁶

Badaniem wykazującym wyższość metody spiekania laserowego (DMLS) w porównaniu z frezowaniem w wytwarzaniu podbudów ze stopu chromowo-kobaltowego jest opublikowane w 2020 roku badanie *Jae-Seok*

i wsp. Przy użyciu stereomikroskopu wykazano najlepsze dopasowanie brzeżne dla podbudów wykonanych techniką SLS (40 um), następnie techniką konwencjonalną (63 um). Największa luka brzeżna była obserwowana dla prób wykonanych metodą frezowania (218 um), będąca wartością zdecydowanie powyżej klinicznej akceptacji (>120 um).²⁹

Interesujące badania odnośnie nowych technik wytwarzania uzupełnień protetycznych zaprezentowali w ubiegłym roku *Maltzahn* i wsp. Badacze porównywali dopasowanie podbudów metalowych ze stopu chromowo-kobaltowego wykonanych czterema różnymi technikami. Pierwszą z nich była nowa metoda wykorzystująca system Ceramill Sintron – cyfrowego frezowania wstępnie spiekane stopu Cr-Co, który następnie poddawano dalszemu spiekaniu do końcowego produktu. Kolejne 3 techniki obejmowały klasyczne metody laserowego spiekania (SLS), cyfrowego frezowania oraz metodę konwencjonalną traconego wosku. Wykonano 10 prób w każdej technice na podstawie modelu zęba filarowego jakim był pierwszy ząb trzonowy żuchwy. Szczelność brzeżna była oceniana przed oraz po pozbyciu się warstwy inhibicji tlenowej (WIT) na wytworzonych podbudach. Wyniki badania wykazały najlepszą szczelność brzeżną w grupie laserowego spiekania (SLS) zarówno przed (20 um), jak i po pozbyciu się warstwy inhibicji tlenowej (19 um). Choć wszystkie próby charakteryzowały się akceptowalnym dopasowaniem brzeżnym, największa luka na granicy preparacji była zaobserwowana w grupie hybrydowej (przed – 42,7 um, po usunięciu WIT – 27,8 um). W każdej grupie badanej lepsze dopasowanie brzeżne obserwowano po pozbyciu się warstwy inhibicji tlenowej.¹³

Podsumowanie

Wszystkie powyższe badania zostały przeprowadzone w warunkach in vitro oraz

dotyczyły porównania szczelności brzeżnej w uzupełnieniach protetycznych wykonanych ze stopu Cr-Co przy użyciu różnych technik wytwarzania. W badaniach zwracano uwagę na dwie główne metody wytwarzania przy użyciu systemu CAD-CAM, tj. technikę spiekania laserowego proszków metali (DMLS) oraz frezowania (CNCM). Warto zwrócić uwagę, że w opisywanych badaniach nie występowała jedna wspólna metoda badania szczelności brzeżnej. Najczęściej jednak używaną techniką była metoda repliki, ze względu na jej szybkość, użyteczność i w wielu przypadkach brak konieczności zniszczenia badanych próbek.

Szczelność brzeżna w granicy 120 um jest uznana jako wartość akceptowalna klinicznie. W przeważającej większości opisywanych badań próby wykonane przy użyciu obu technik wytwarzania (DMLS i CNCM) osiągały akceptowalne, a nawet znacznie lepsze (< lub równe 70 um) dopasowanie brzeżne oraz wykazywały wyższość nowych technologii wytwarzania nad konwencjonalnymi. Pomimo tego, jak przedstawiają badania *Park* i wsp. oraz *Myung-Joo* i wsp., nie zawsze występuje jednoznaczna przewaga technik opartych na systemie CAD-CAM, gdyż lepsze dopasowanie brzeżne było obserwowane w grupach wykorzystujących metodę traconego wosku.^{22,25}

Analiza badań pod kątem porównania jedynie nowych technik wytwarzania, również nie zapewnia jednoznacznych wniosków. Badacze *Zuskova* i wsp. oraz *Kara* stwierdzają występowanie braku wpływu metody wytwarzania na wartość szczelności brzeżnej odbudowy.^{15,23} Z kolei wyniki badań *Savencu* i wsp. zapewniają o lepszym dopasowaniu brzeżnym podbudów wykonanych techniką frezowania.¹¹ Należy podkreślić, że w czterech spośród dziewięciu analizowanych badań wyniki ukazują najniższą wartość luki brzeżnej w próbach wykonanych metodą SLS.^{13,23,27,28} Różnice w wynikach pomiędzy badaniami w znacznej mierze

mogą wiązać się z samą metodologią. Jak zaznaczono na samym początku, brak jest standardowej metody oceny szczelności brzeżnej. Badania różniły się również ilością prób badanych, występowały odmienności w dobie-raniu i preparacji zębów filarowych, a także w wykonawstwie laboratoryjnym uzupełnień. Podstawowym celem leczenia protetycznego jest zapewnienie pacjentowi najbardziej dokładnie dopasowanej podbudowy. Warto tutaj zaznaczyć, że każde z badań było przeprowadzane warunkach *in vitro*. Powstaje zatem potrzeba przeprowadzenia dalszych badań, które umożliwią odnalezienie przełożenia zmienności parametrów opisywanych w niniejszym przeglądzie piśmiennictwa, na funkcjonalność konstrukcji protetycznych w środowisku jamy ustnej pacjenta.

Ze względu na mnogość występujących obecnie na rynku technik dentystycznych, klinicy-sta staje przed trudnym wyborem najlepszej dla danego przypadku klinicznego metody wytwa-rzania uzupełnień protetycznych. Powodzenie w terapii jest składową wielopłaszczyznowej optymalizacji wszystkich etapów wytwarzania odbudowy protetycznej. Wspomaganie kom-puterowe, szeroki wybór biomateriałów, takich jak metale, ceramika, polimery czy kompozyt. Nie można pominąć również aspektu ekono-micznego. Na ostateczną cenę wytworzonego elementu protetycznego mają wpływ koszty związane z pozyskaniem materiału, jego prze-robieniem, a także kosztem usunięcia odpa-dów poprodukcyjnych.^{29,30} Szczelność brzeż-na jest jednym z najważniejszych klinicznie parametrów gotowej odbudowy protetycznej. Istotną kwestią są rozbieżności w dopasowa-niu i szczelności brzeżnej odbudowy wytwa-rzanej wyżej opisanymi technikami, a zatem w procesie spiekania tlenków metali, frezowania oraz metody hybrydowej. Zasadne wydaje się być ujednoclenie projektu oraz rodzaju mate-riału wykorzystanego do wykonania pracy pro-tetycznej, pozwalając na eliminację większej

ilości zmiennych. Wykonanie takiego badania pozwoli na weryfikację dokładności poszcze-gólnych metod wytwarzania prac protetycz-nych, co przełoży się na optymalizację procesu leczenia pacjenta.

Piśmiennictwo

1. *Hyla A, Bociek W*: Uzasadnienie obecności technologii CAD/CAM w gabinecie stoma-tologicznym i w rozwijającej się pracowni techniki dentystycznej. *Nowoczesny Technik Dentystyczny* 2016;1: 86-89.
2. *Konopacka A, Woytoń-Górawska H, Nowakowska D*: Wybór odbudowy prote-tycznej zębów po leczeniu endodontycznym w zależności od ilości utraty tkanek własnych zębów – przegląd piśmiennictwa. *Protet Stomatol* 2016; LXVI, 6: 445-452.
3. *Żarow M, Krupiński J*: Pośrednie wypełnienia kompozytowe w przypadku znacznego zniszczenia koron zębów bocznych. Część III. Badania laboratoryjne – analiza numeryczna. *Magazyn Stomatologiczny* 2004; 14, 12: 76-82.
4. *Freire Y, Gonzalo E, Lopez-Suarez C, Suarez M*: The Marginal Fit of CAD/CAM Monolithic Ceramic and Metal-Ceramic Crowns. *Journal of Prosthodontics* 2019; 28, 3: 299-304.
5. *Smarz J, Skowron M, Florjański W*: Wykorzystanie metali i ich stopów w prote-tyce stomatologicznej. *Protet Stomatol* 2016; LXVI, 6: 461-467.
6. *Seong-Bin K, Nam-Hoon K, Jae-Hong K, Hong-Seok M*: Evaluation of the fit of met-al copings using stereolithography. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 693-698.
7. *Ki-Baek K, Jae-Hong K, Woong-Chul K, Ji-Hwan K*: Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent* 2014; 112; 1433-1436.
8. *Wang H, Feng Q, Li N, Xu S*: Evaluation of metal-ceramic bond characteristics of three

- dental Co-Cr alloys prepared with different fabrication techniques. *J Prosthet Dent* 2016; 116: 915-923.
9. *Szynkowska M I, Sokołowski J, Rogowski J, Nagrodzka A, Leśniewska E, Albińska J, Pawlaczyk A*: Badania odporności korozyjnej stopów metali stosowanych w protetyce stomatologicznej za pomocą metod ICP-TOF-MS, TOF-SIMS i AAS. *Przemysł Chemiczny* 2010; 89, 4: 558-563.
 10. *Słoniewski J, Czop P, Kaźmierowska M, Truskowski A*: Przegląd hybrydowych technologii wytwarzania uzupełnień protetycznych. *Nowoczesny Technik Dentystyczny* 2017; 6: 44-50.
 11. *Savencu CE, Șerban C, Porojan L*: Adaptability Evaluation of Metal-Ceramic Crowns Obtained by Additive and Subtractive Technologies. *Applied Sciences* 2020; 10, 16: 5563.
 12. *McLean JW, von Fraunhofer JA*: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 1971; 131: 107-111.
 13. *Maltzahn NF, Bernhard F, Kohorst P*: Fitting accuracy of ceramic veneered Co-Cr crowns produced by different manufacturing processes. *J Adv Prosthodont* 2020; 12(2): 100-106.
 14. *Porojan L, Topală F, Porojan S, Savencu C*: Effect of frame design and veneering material on biomechanical behavior of zirconia dental crowns veneered with overpressing ceramics. *Dent Mater* 2017; 36: 275-281.
 15. *Zuskova L, Al Mortadi NA, Williams RJ, Alzoubi KH, Khabour OF*: Comparison of Overall Fit of Milled and Laser-Sintered CAD/CAM Crown Copings. *International Journal of Dentistry* Volume 2019; 1-5.
 16. *Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D*: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British Dental Journal* 2008; 204, 9: 505-511.
 17. *Amroziak K, Bączkowski B, Kochański A*: Comparison of various methods of fabricating parts for metal dentures – based on selected literature. *Prosthodontics* 2020; 70, 2: 183-188.
 18. *Akova T, Ucar Y, Tukay A, Balkaya M, Brantley W*: Comparison of the bond strength of laser-sintered and cast base metal dental alloys to porcelain. *Dent Mater* 2008; 24, 10: 1400-1404.
 19. *Huang S, Liu P, Mokeddar A, Hou L*: Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2013; 67, 5-8: 1191-1203.
 20. *Surowiecki D, Szerszeń M, Wróbel-Bednarz K, Walczyk A*: Compatibility of the digital design of prosthetic crowns with restorations made in the technology of selective laser sintering of metal powders. *Protet Stomatol* 2020; 70, 2: 132-143.
 21. *Ortorp A, Jonsson D, Mouhsen A, von Steyern PV*: The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: A comparative in vitro study. *Dent Mater* 2011; 27: 356-363.
 22. *Myung-Joo K, Yun-Jung C, Seong-Kyun K*: Marginal Accuracy and Internal Fit of 3-D Printing Laser-Sintered Co-Cr Alloy Copings. *Materials* 2017; 10, 1: 93.
 23. *Kara R*: Evaluation of marginal and internal fit of Co-Cr copings by different manufacturing methods. *IJDSIR* 2020; 3, 1: 276-287.
 24. *Kara R*: Comparison of Marginal and Internal Fit of Different CAD/CAM Copings. *IJDSIR* 2020; 8, 4: 105-111.
 25. *Park JK, Wan-Sun L, Hae-Young K, Woong-Chul K, Ji-Hwan K*: Accuracy evaluation of metal copings fabricated by computeraided milling and direct metal laser sintering systems. *J Adv Prosthodont* 2015; 7: 122-128.
 26. *Vojdani M, Torabi K, Farjood E, Khaledi A*: Comparison the Marginal and Internal Fit of Metal Copings Cast from Wax Patterns Fabricated by CAD/CAM and Conventional

- Wax up Techniques. *J Dent* 2013; 14, 118-129.
27. *Yildirim B, Paken G*: Evaluation of the Marginal and Internal Fit of Implant-Supported Metal Copings Fabricated with 3 Different Techniques: An In Vitro Study. *Journal of Prosthodontics* 2019; 28(3).
28. *Gunsoy S, Ulusoy M*: Evaluation of marginal/internal fit of chrome-cobalt crowns: Direct laser metal sintering versus computer-aided design and computer-aided manufacturing. *Niger J Clin Pract* 2016;19(5): 636-644.
29. *Jae-Seok A, Jung-Hwan L*: Comparative evaluation of marginal and internal fit of three-unit Co-Cr frameworks fabricated by metal milling and direct metal laser sintering methods. *Journal of Korean Academy of Dental Technology* 2020; 42(2): 81-89.
30. *Dobrzański LA.; Dobrzański LB*. Dentistry 4.0 Concept in the Design and Manufacturing of Prosthetic Dental Restorations. *Processes* 2020; 8: 525.

Zaakceptowano do druku: 3.08.2021 r.

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

© Zarząd Główny PTS 2021.