



Charakterystyka ceramicznych materiałów stomatologicznych stosowanych w gabinetowych systemach CAD/CAM

Characteristic of ceramic dental materials used with CAD/CAM chairside systems

Agnieszka Kuźniar-Folwarczny¹, Mikołaj Sulewski¹, Anna Błaszczuk¹, Agnieszka Sulewska², Piotr Kosior³, Maciej Dobrzyński³

¹ Prywatne Centrum Stomatologiczne Maciej Kozłowski, ul. Spokojna 23, 56-400 Oleśnica

² Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław

³ Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej i Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław, tel. +48 71 784 03 78, e-mail: maciejdobrzynski@op.pl

Streszczenie

Abstract

Gabinetowe systemy CAD/CAM pozwalają wykonywać uzupełnienia protetyczne podczas jednej wizyty. Zaspokojenie wysokich wymagań pacjentów związanych z estetyką uzupełnień protetycznych uwarunkowane jest dostępnością materiałów niezbędnych do ich wykonania. Materiały, z których wykonuje się uzupełnienia, to bloczki ceramiki skaleniowej, ceramik wzmocnianych leucytem lub dwukrzemianem litu, a także ceramiki hybrydowej. Spektrum uzupełnień możliwych do wykonania w danym systemie zależy od rozmiaru posiadanej maszyny frezującej, rozmiaru bloczka i właściwości wybranego materiału. Celem pracy było przedstawienie charakterystyki ceramik dentystycznych stosowanych w gabinetowych systemach CAD/CAM oraz zalet wynikających z wykorzystania tego systemu w codziennej praktyce. Opisano także postępowanie kliniczne zalecane podczas pracy z tą technologią z uwzględnieniem różnic w zależności od zastosowanego materiału do odbudowy. Wybór odpowiedniego materiału do danej sytuacji klinicznej jest zadaniem lekarza dentysty i wymaga uwzględnienia wielu czynników.

Słowa kluczowe: CAD/CAM, systemy gabinetowe, materiały dentystyczne, uzupełnienia pełnoceramiczne, ceramika stomatologiczna

Chairside CAD/CAM systems allow dental practitioners to provide their patients with restorations made during a single appointment. Satisfying the high requirements of patients associated with aesthetic restorations results for the availability of materials necessary for their performance. Materials for these restorations comprise blocks made of feldspar, leucite- and lithium disilicate-reinforced ceramics and also hybrid ceramics. The spectrum of restorations that can be fabricated with a chairside system depends on the size of the milling machine, the size of material block, and the properties of the selected material.

The aim of this study was to present characteristics of dental ceramics used in chairside CAD/CAM systems and to show the benefits of using it in daily practise. Also, the clinical treatment recommendations were described based on the differences between the used material blocks. The choice of the best material to match the clinical situation is a dentist's task and many factors must be taken into account.

Key words: CAD/CAM, chairside systems, dental materials, all ceramic restoration, dental ceramic

otrzymano / received:

29.11.2019

poprawiono / corrected:

04.12.2019

zaakceptowano / accepted:

08.12.2019



Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwujemy dynamiczny rozwój dostępności i rodzajów materiałów stomatologicznych stosowanych w technologii CAD/CAM. Technologia ta składa się z następujących elementów: CAD (ang. Computer Aided Manufacturing) – komputerowe wspomaganie projektowania oraz CAM (ang. Computer Aided Manufacturing) – komputerowe wspomaganie produkcji [1].

Początki technologii CAD/CAM sięgają lat 70. XX wieku, kiedy to François Duret wprowadził ją do stomatologii, tworząc system Sopha [2]. Następnie w latach 80. Mörmann i Brandestini wprowadzili pierwszy gabinetowy system CAD/CAM – CEREC (Sirona Dental Systems GmbH) służący do produkcji ceramicznych wkładów koronowych [3].

W ostatnich dziesięcioleciach dzięki nieustającemu rozwojowi systemów CAD/CAM możemy wykonywać praktycznie wszystkie prace protetyczne: od koron, licówek, nakładów czy wkładów do wielopunktowych mostów protetycznych, łączników czy szablonów implantologicznych [4, 5].

Dzięki temu procesowi na rynku stomatologicznym pojawia się aktualnie coraz więcej nowych materiałów o różnych właściwościach i zastosowaniach. Firmy nieustannie prześcigają się w atrakcyjności swoich produktów, dzięki czemu materiały stosowane w technologii CAD/CAM cechują się coraz większą estetyką, jak i wytrzymałością. Wzrost jakości materiałów pozwala na zwiększenie obszaru zastosowań danych materiałów w jamie ustnej pacjenta – począwszy od zębów trzonowych, jak również w odcinku przednio-bocznym czy odcinku przednim [6].

Przewaga nad klasycznymi technikami rekonstrukcyjnymi

Gwałtowny wzrost zastosowań stomatologii cyfrowej oferuje niespotykane dotąd i ekscytujące możliwości poprawy jakości opieki stomatologicznej. Wykorzystanie technologii CAD/CAM w protetyce umożliwiło wykonywanie uzupełnień protetycznych podczas jednej wizyty, w obrębie jednego gabinetu posiadającego odpowiedni sprzęt. Korzystanie z usług pracowni techniki dentystycznej zostaje ograniczone do prac wymagających innej technologii wykonania lub przekraczających możliwości frezarki gabinetowej. Technologia również przedstawia obiecujące perspektywy ulepszenia diagnostyki, planowania oraz oceny wyników leczenia.

Można wyróżnić pięć głównych elementów, które są często promowane jako zalety wykorzystania technologii CAD/CAM w stomatologii. Są to: satysfakcja pacjenta, pozytywne postrzeganie przez lekarzy dentystów, skrócenie czasu pracy przy unie, dokładność odwzorowania filaru/podłoża protetycznego i pozytywne wyniki leczenia [7].

Z punktu widzenia pacjenta korzyści wynikające z wykorzystania gabinetowego systemu CAD/CAM są następujące: procedura jest jednowizytowa, brak konieczności pobierania tradycyjnych wycisków, możliwość wykonania estetycznych uzupełnień [4, 8].

Skrócenie leczenia do jednej wizyty to dla pacjenta redukcja stresu i czasu poświęcanego na leczenie, brak konieczności przyjmowania następnego znieczulenia i noszenia uzupełnień tymczasowych. Korzyści biologiczne to możliwość szybkiego zabezpieczenia odstąpiętej zębiny uzupełnieniem ostatecznym, najczęściej cementowanym adhezyjnie i brak zanieczyszczenia powierzchni filaru cementem tymczasowym [8].

Porównano odczucia pacjentów po wykonaniu konwencjonalnych wycisków na tyżkach standardowych masą polieterową, a skanowaniem wewnątrzustnym. W badaniach stwierdzono, że pacjenci zdecydowanie lepiej oceniają procedurę cyfrowego skanowania w odniesieniu do czasu jej trwania, komfortu, ewentualnych nudności i bólu niż wycisk.

W przypadku wykonywania wycisków masą alginatową odczucia pacjentów nie różnią się znacznie w porównaniu z procedurą cyfrową, najprawdopodobniej ze względu na szybkość i łatwość wykonania rejestracji podłoża tą masą [7-9].

Do produkcji uzupełnień w procedurze *chairside* są wykorzystywane materiały, które cechują się możliwością szybkiego frezowania bez uszkodzenia i krótkim czasem wykończenia uzupełnienia po frezowaniu. Te warunki spełniają: ceramika skaleniowa, ceramiki wzmocnione leucytem lub dwukrzemianem litu, materiały kompozytowe i nanoceramika kompozytowa. Z wymienionych materiałów można wykonywać uzupełnienia spełniające wymagania estetyki [9, 10].

Cyfrowe procedury dają lekarzom dentystom szereg udogodnień niemożliwych do uzyskania podczas tradycyjnych metod pracy. Dzięki temu, że procedura skanowania jest wizualizowana w czasie rzeczywistym na ekranie komputera, to jakość cyfrowego wycisku, jak i preparacja filaru mogą być kontrolowane w tym samym czasie. W związku z tym lekarz jest w stanie na bieżąco ocenić swoją pracę i poprawić ewentualne niedokładności szlifów, jak np. brak osi wprowadzenia, obecność podcieni itd., co do tej pory było możliwe dopiero po odlaniu modeli. W razie błędów w obrębie cyfrowego modelu skanowanie można natychmiast powtórzyć, bez konieczności ponownego mieszania masy wyciskowej. W porównaniu z wyciskami na tyżkach cyfrowy wycisk można ciąć i selektywnie poprawiać w obszarze, gdzie pojawił się błąd lub przekłamanie – na skutek np. krwawienia przy brzęgu preparacji. Istnieje też opcja pre-scan, gdzie uzyskane skany pełnego łuku są wykorzystywane przy planowaniu leczenia, natomiast po opracowaniu zęby można cyfrowo wyciąć i zeskanować ponownie, otrzymując gotowy model [4, 8, 9].

Dokładność uzupełnień jest niezależna od techniki wyciskowej analogowej lub cyfrowej, jednakże czas potrzebny na wykonanie wycisków cyfrowych jest krótszy niż konwencjonalnych [7].

Całe postępowanie odbywa się bez wykorzystania tyżek wyciskowych, co eliminuje konieczność ich czyszczenia i dezynfekcji. Skanery natomiast są łatwe w czyszczeniu, mogą być wyposażone w końcówki, które można sterylizować w autoklawie lub jednorazowe rękawy [4].

Niektóre systemy skanujące potrafią wygenerować model w rzeczywistych kolorach, odwzorowując strukturę zęba



i teksturę dziąsła, analizując ich złożoność kolorystyczną. Poprzez selektywny pomiar odcieni ułatwiają dobór koloru bloczka wybranego materiału, aby uzyskać optymalny efekt estetyczny [11].

Cyfrowe obrazowanie umożliwia zestawienie danych pozyskanych z różnych źródeł, jak CBCT, skanowanie wewnątrzustne lub skanowanie twarzy, co pozwala lekarzom różnych specjalności konstruować zaawansowane, rozszerzone plany leczenia potrzebne w implantoprotezy lub cyfrowym planowaniu uśmiechu [8].

Większość badań wspiera założenie, że wykorzystanie skanowania wewnątrzustnego skraca czas pracy przy fotelu, czyniąc leczenie bardziej efektywnym. Średni czas pracy potrzebny na wykonanie cyfrowego wycisku kształtuje się pomiędzy 4 a 15 minutami w porównaniu z konwencjonalnym trybem pracy, gdzie jest to 10-25 minut [7, 9].

Istnieją dwa główne skorelowane czynniki, które określają ogólną dokładność cyfrowego trybu pracy: dokładność uzyskanego obrazu i dokładność ostatecznej protezy.

Dokładność uzyskanego obrazu zależy przede wszystkim od rodzaju skanera wewnątrzustnego – jego wydajności i precyzji. Badania *in vitro* i *in vivo* wykazują wysoki poziom precyzji od 4 do 80 μm dla skanów o ograniczonym obszarze – sekstantu lub kwadrantu. Z drugiej strony skany pełnotukowe wykazują niższą dokładność w porównaniu z technikami konwencjonalnymi lub pośredniego skanowania modeli gipsowych przez skaner zewnętrzny.

Jeśli chodzi o dokładność ostatecznego uzupełnienia, badania wskazują, że nie ma statystycznie istotnych różnic między cyfrowym a konwencjonalnym modelem pracy. Systematyczne przeglądy piśmiennictwa mówią o różnicach rzędu 84 μm a 142 μm , jednakże korony wykonywane konwencjonalnie wykazują lepsze dopasowanie w zgryzie. Dzięki wprowadzeniu oprogramowania wirtualnej artykulacji można uzupełnienia dopasować zarówno w zwarcu statycznym, jak i dynamicznym [4, 7, 9].

Ze względu na wymienione wcześniej czynniki, uzupełnienia wykonane w technologii CAD/CAM cechują się wysoką precyzją i szczelnością brzeżną, co ma kluczowe znaczenie dla powodzenia i korzystnego długotrwałego efektu leczniczego. Liczne badania porównujące okres przeżycia uzupełnień wykonywanych techniką konwencjonalną i cyfrowo wykazywały brak statystycznych różnic pomiędzy nimi, jednak wyniki są zależne od materiału, z którego zostały wykonane, lokalizacji uzupełnienia i jego kształtu [7, 9, 10].

Metoda zabiegowa

Sukces metody *chairside* zależy od wszystkich składowych procesu diagnostyczno-terapeutycznego: odpowiedniej selekcji przypadków, właściwej preparacji, kontroli środowiska jamy ustnej, poprawnego korzystania z systemu komputerowego, spełnienia kryteriów estetycznych w zakresie doboru odcienia bloczka materiału i jego wykończenia, jak również cementowania ostatecznego [4].

Preparacja zęba pod uzupełnienie ceramiczne musi równoważyć grubość planowanej warstwy ceramiki i być pozbawiona ostrych krawędzi. W przeciwieństwie do konwencjonalnych uzupełnień metalowo-ceramicznych, pełnoceramiczne nie wymagają kształtu retencyjnego, gdyż wiązanie uzyskuje się dzięki adhezji do zębiny. Powinno się wypreparować stopień *rounded shoulder* lub *heavy chamfer* na całym obwodzie zęba. Udowodniono, że jakość preparacji ma bezpośredni wpływ na szczelność brzeżną koron wykonywanych systemem CAD/CAM [11, 12, 13].

W celu uszczelnienia odstoniętych kanalików zębinowych można przeprowadzić procedurę IDS jeszcze przed skanowaniem filaru [9].

Po przygotowaniu pola protetycznego można przejść do procedury skanowania. Obecnie stosowane skanery nie wymagają stosowania matującego proszku lub jego niewielkiej ilości, jak również mają zdolność skanowania kolorów, odtwarzając odcienie zęba. W przypadku wystąpienia gorszych warunków – obecności śliny lub krwawienia z kieszonki dziąsłowej – skanowanie można powtórzyć selektywnie, ograniczając je tylko do niewystarczająco dokładnego obszaru [9].

W celu zarejestrowania warunków zgryzowych można albo oddzielnie zeskanować łuki zębowe i na koniec zarejestrować je zestawione w zwarcu centralnym – skan boczny, albo zeskanować rejestrat zwarcia, który posłuży do stworzenia wirtualnego modelu przeciwstawnego [4, 9, 11].

Uzyskane dane są przetwarzane do formatu plików STL i umożliwiają dalszą pracę: cyfrowe projektowanie. Oprogramowanie ułatwia pracę poprzez takie narzędzia, jak wykrywacz krawędzi/linii brzeżnych lub cyfrowy automatyczny wax-up. Lekarz może wybrać z biblioteki programu kształt planowanego uzupełnienia, jak również odwzorować je na podstawie odbicia lustrzanego zęba przeciwstawnego. Dopasować należy również powierzchnie stykowe i powierzchnie żujące, a korekt można dokonywać manualnie [4,9].

Kolejnym krokiem jest wybór materiału odtwórczego z uwzględnieniem jego właściwości, zarówno fizycznych, jak i estetycznych. Ważne jest, aby określić stopień transparencji, który będzie wymagany od przyszłego uzupełnienia, jego nasycenie barwy i odcień. W zależności od warunków można wybierać pomiędzy bloczkami o niskiej przezierności (IPS Empress CAD LT, Ivoclar Vivadent) lub o wysokiej przezierności (IPS Empress CAD HT, Ivoclar Vivadent). Dobierając odcień zgodnie z kolornikiem Vita, można skutecznie łączyć istniejące szkliwo i zębinę, aby stworzyć równomierną dyspersję światła podobną do struktury naturalnego zęba, dzięki zawartości szkła leucytowego. Inną możliwością jest wybór ceramiki skaleniowej cechującej się również bardzo dobrymi właściwościami optycznymi dostępnej w bloczkach z gradientem różnych odcieni (Vita Triluxe lub Triluxe Forte) [5, 10, 11].

Po dokonaniu wyboru odpowiedniego bloczka należy umieścić go we frezarce i oczekiwać na wycięcie uzupełnienia, które wymaga następnie ostatecznej obróbki – odcięcia kanału wlewowego i polerowania. Różne materiały wymagają innych



procedur wykończenia w celu nadania połysku – od polerowania za pomocą gumek, krążków ściernych i past, poprzez barwienie i nakładanie glazury, która może być światłoutwardzalna lub wymagająca wypalenia. Przygotowane uzupełnienie należy przymierzyć w jamie ustnej, sprawdzając jego szczelność brzeżną, dopasowanie w zgryzie i kontakty z zębami sąsiednimi – postępowanie nie różni się od konwencjonalnego [10, 11].

Ostatnim etapem jest ostateczne cementowanie pracy, którego procedura jest uzależniona od wybranego materiału. Ze względu na znaczne różnice w procedurach cementowania zaleca się zapoznanie z piśmiennictwem im poświęconym. Używanie dobrych wyników klinicznych wymaga szczegółowego przestrzegania schematu postępowania przy cementowaniu adhezyjnym, gdyż błędy proceduralne mają znaczny wpływ na ostateczny wynik leczenia.

Po osadzeniu uzupełnienia może być konieczna korekta okluzji, którą przeprowadza się z użyciem dedykowanych do tego narzędzi – wiertłami o odpowiednim nasypie. Korygowane miejsca należy wypolerować, gdyż szorstkość powierzchni materiału przyczynia się do zwiększonego ścierania szkliwa zębów przeciwstawnych, jak również ma negatywny wpływ na właściwości mechaniczne materiału [10].

Typy materiałów – różnice, porównanie

Nieustający wzrost wymagań stawianych przez pacjentów względem estetyki prac protetycznych spowodował, że rozwój protetyki stomatologicznej skierował się ku eliminacji metalu jako elementu konstrukcyjnego uzupełnień protetycznych odpowiedzialnego za wzmocnienie ceramiki. W wyniku prac prowadzonych nad udoskonaleniem ceramiki dentystycznej, pod koniec XX wieku wykonano pierwsze uzupełnienie pełnoceramiczne [14].

Protetyka stomatologiczna jest to dziedzina stomatologii, w której obserwuje się bardzo duży rozwój materiałów stosowanych w wykonawstwie prac pełnoceramicznych w technologii CAD/CAM. Lekarze, jak i technicy dentystyczni bardzo chętnie sięgają po różnorodne materiały ceramiczne. Ceramiki mogą różnić się składem chemicznym, strukturą, sposobem otrzymywania, co w konsekwencji prowadzi do uzyskania różnych właściwości mechanicznych, optycznych i estetycznych materiału [15].

Materiały ceramiczne

- CERAMIKA SZKLANA
 - Wzmacniana leucytem (IPS Empress CAD)
 - Wzmacniana dwukrzemianem litu (IPS e.max CAD)
 - Wzmacniana dwukrzemianem litu z tlenkiem cyrkonu (Celtra, Suprinity)
- CERAMIKA SKALENIOWA
 - Monochromatyczna (Mark II)
 - Multichromatyczna (Trilux, Trilux Forte, Realife)
- CERAMIKA HYBRYDOWA (Enamic)

Ceramiki stomatologiczne należą do grupy materiałów stomatologicznych stosowanych w jamie ustnej pacjenta. Materiały te charakteryzują się różnymi właściwościami fizycznymi, tj.: wytrzymałość, kruchość, transparentcja, twardość. Różnorodność i zmienność tych cech wynika z odmiennych technik powstawania, mikrostruktury materiału oraz składu chemicznego [16].

Mimo obecności różnych właściwości fizycznych znajdujemy kilka cech wspólnych dla tej grupy materiałów stomatologicznych, tj. wysoki stopień biokompatybilności, niska podatność na adhezję płytki bakteryjnej, stabilność koloru oraz niskie ryzyko wystąpienia przebarwień [17].

Ceramika szklana wzmacniana leucytem

Ceramika leucytowa jest to ceramika szklana wzbogacona w 20-55% kryształami leucytu – glinokrzemianu potasu. Zastosowanie kryształów leucytu spowodowało znaczne zwiększenie wytrzymałości struktury ceramiki.

Po raz pierwszy ten rodzaj materiału został wprowadzony przez firmę Ivoclar Vivadent w latach 80. Materiał był dostępny pod nazwą IPS Empress i miał zastosowanie w konwencjonalnej metodzie traconego wosku w połączeniu z techniką tłoczenia ciśnieniowego na gorąco. Zastosowanie wzmocnienia kryształami leucytu spowodowało wzrost wytrzymałości uzupełnień ceramicznych na zginanie do 150 MPa. Wartość ta jest dwa razy wyższa niż w przypadku zwykłej ceramiki skaleniowej bez wzmocnienia. Zwiększenie wytrzymałości rozszerzyło zakres prac, które można wykonać z tego materiału. Poza wykonaniem licówek możliwe jest wykonanie wkładów i nakładów koronowych, częściowych koron oraz pojedynczych koron na zęby przednie.

W 2006 roku firma ta wprowadziła ceramikę w formie bloczków stosowanych w technice frezowania pod nazwą IPS Empress CAD.

IPS Empress CAD jest to materiał, który cechuje się wysoką homogannością, zdolnością do przepuszczania światła i fluorescencją. Dzięki tym właściwościom materiał charakteryzuje się wysoką estetyką wyfrezowanych uzupełnień protetycznych, jak również translucencją zbliżoną do naturalnych zębów pacjenta. Dodatkowym atutem jest wytrzymałość mechaniczna na poziomie 160 MPa i efekt kameleona. Materiał może być stosowany do wykonywania licówek, koron, wkładów *inlay* i *onlay*.

Bloczki IPS Empress CAD są kompatybilne z systemami CEREC (Fot. 1) i E4D Denstis System oraz charakteryzują się różnymi stopniami translucencji. Ceramika leucytowa IPS Empress CAD (Fot. 2) produkowana jest w bloczkach o trzech stopniach translucencji:

- HT – *High Translucenc* – wysoka translucencja, bloczki monochromatyczne
- LT – *Low Translucenc* – niska translucencja, bloczki monochromatyczne
- MULTI – *Multi Translucenc* – bloczki polichromatyczne w części dentynowej oraz HT w części brzegu siecznego.



Fot. 1 Elementy systemu CEREC; źródło: materiały reklamowe firmy Sirona
Źródło: www.sirona.com.



Fot. 2 Bloczki ceramiczne IPS Empress CAD. Od lewej Multi, LT
Źródło: Dzięki uprzejmości Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław.

Wyfrezowane uzupełnienia stomatologiczne poddawane są procesowi polerowania lub indywidualnemu procesowi charakteryzacji z zastosowaniem specjalnych farbek do porcelany IPS Empress Universal Stains/Shade i glazurowania IPS Empress Universal Glaze Paste. Gotowe uzupełnienie jest cementowane w ustach pacjenta z zastosowaniem cementów adhezyjnych [17, 18].

Ceramika szklana wzmocniana dwukrzemianem litu

Ceramika szklana wzmocniana dwukrzemianem litu to szkło ceramiczne z dodatkiem kryształów dwukrzemianu litu.

Po raz pierwszy materiał ten został wprowadzony przez firmę Ivoclar i figurował pod nazwą IPS Empress 2. Ceramika ta składa się w 60% z pryzmatycznych kryształów dwukrzemianu litu. Kryształy strukturalnie przypominają wydłużone ziarna o długości 0,5-5 μm , które rozproszone są w macierzy szklanej. Zastosowanie wzmocnienia na bazie dwukrzemianu litu spowodowało wzrost wytrzymałości na zginanie, które wynosi średnio 350 MPa i jest to wartość pięciokrotnie wyższa od ceramiki skaleniowej [17, 18].

Podobnie jak w przypadku ceramiki szklanej wzmocnionej leucytem, wzrost wytrzymałości na zginanie spowodował rozszerzenie wachlarza zastosowań materiału dodatkowo do trzypunktowych mostów, z uwzględnieniem, że długość przęsta w odcinku przednim nie może wynosić więcej niż 11 mm, a w odcinku bocznym 9 mm [19].

Ceramika ta była ciągle udoskonalana. Głównym celem firmy Ivoclar było rozszerzenie zastosowania nowej ceramiki do technik komputerowych i tak w 2005 roku firma wprowadziła system bloczków IPS e.max CAD, którego głównym elementem składowym jest IPS Empress 2.

IPS e.max CAD jest to system monolitycznych bloczków. Bloczki dostępne są w stanie wstępnie skryształizowanym (bloczki koloru niebieskiego), które charakteryzują się łatwiejszym procesem obróbki i frezowania. W tym stanie materiał posiada wytrzymałość na poziomie 130-150 MPa. Wyfrezowane uzupełnienie protetyczne poddane procesowi krystalizacji zmienia barwę na docelową, uzyskuje odpowiednie właściwości optyczne zbliżone do naturalnych zębów oraz zwiększa wytrzymałość mechaniczną do 360 MPa.

Materiał ten można zastosować przy wykonawstwie licówek, inaly, onlay, koron częściowych, koron w odcinku przednim i bocznym, trzypunktowych mostów oraz pojedynczych uzupełnień na implantach. System IPS e.max CAD kompatybilny jest z systemami Sirona, Kavo, Straumann CAD/CAM oraz D4D Technologies.

Wyfrezowane uzupełnienia poddawane są procesowi krystalizacji, podczas którego dochodzi do wytworzenia dwukrzemianu litu. W efekcie bloczek zmienia kolor z błękitno-szarej barwy na właściwy odcień zęba [6].

Bloczki IPS e.max CAD (Fot. 3) występują w trzech stopniach translucencji:

- HT – *High Translucenc* – wysoka translucencja
- LT – *Low Translucenc* – niska translucencja
- MO – *Medium Opacity* – średnio opakowane.



Fot. 3 Bloczki ceramiczne IPS e.max. Od lewej HT, MT, LT, MO
Źródło: Dzięki uprzejmości Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław.

Podobnie jak w przypadku ceramiki wzmocnionej leucytem – wyfrezowane uzupełnienia protetyczne po krystalizacji poddawane są procesowi polerowania lub indywidualnej charakteryzacji farbami IPS e.max CAD Shades/Stains lub glazurowaniu IPS e.max CAD Glaze. Gotowe uzupełnienie jest cementowane w ustach pacjenta z zastosowaniem cementów adhezyjnych.

Ceramika szklana wzmocniana dwukrzemianem litu z tlenkiem cyrkonu

Ceramika szklana wzmocniana dwukrzemianem litu z tlenkiem cyrkonu to szkło ceramiczne z dodatkiem kryształów dwukrzemianu litu i tlenku cyrkonu.

Vita Suprinity PC jest to materiał szklano-ceramiczny, w którym szklaną ceramikę wzmocniono tlenkiem cyrkonu, który stanowi 10% ciężaru. Błoczek Vita Suprinity PC zostały wprowadzone w 2016 roku przez firmę VITA Zahnfabric.

Materiał ten charakteryzuje się homogeniczną i drobnocząsteczkową mikrostrukturą. Ceramika ta jest bardzo estetyczna, wykazuje przezierność, fluorescencję i opalescencję. Błoczki Vita Suprinity PC dostępne są w stanie krystalizacji wstępnej. Dodatkowo materiał ten w stanie krystalizacji wstępnej cechuje się odpornością na zginanie na poziomie 180 MPa, zaś po krystalizacji 420 MPa.

Zakres zastosowania ceramiki obejmuje wykonanie licówek, nakładów/wkładów/półkoron, koron odcinka bocznego i przedniego oraz koron odcinka bocznego i przedniego na implantach.

Błoczki Vita Suprinity PC (Fot. 4) dostępne są w dwóch stopniach przezierności:

- T – *Traslucent*
- HT – *High Traslucent*.



Fot. 4 Błoczek ceramiczny VITA Suprinity

Źródło: Dzięki uprzejmości Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław.

Wyfrezowane uzupełnienie protetyczne po krystalizacji wystarczy poddać procesowi polerowania z zastosowaniem zestawu do polerowania Vita Suprinity Polishing Sets lub zastosować farbki Vita Akzent Plus do charakteryzacji.

Kolejnym przedstawicielem tego rodzaju materiału jest Celtra firmy Dentsply Sirona. Celtra należy do grupy ceramik szklanych wzmocnianych tlenkiem cyrkonu o nazwie ZLS.

Materiał swoją wysoką wytrzymałość zawdzięcza mikrostrukturze obecnego w składzie tlenku cyrkonu ZLS. Oprócz tego do cech ceramiki zaliczamy wysoką translucencję, opalescencję i fluorescencję, dzięki obecności w składzie dużej ilości szkła.

Materiał ten występuje w dwóch wersjach błoczków:

- Celtra CAD – błoczki w stanie wstępnie skrysztalizowanym
- Celtra DUO – błoczki skrysztalizowane.

Celtra CAD charakteryzuje się wytrzymałością 420 MPa. Natomiast CELTRA DUO osiąga wytrzymałość na poziomie 210 MPa, a po wypaleniu glazury 370 MPa.

Z materiału Celtra można wykonać licówki, *inlaye*, *onlaye*, korony częściowe i korony w odcinku przednim i bocznym.

Proces indywidualizacji wyfrezowanych i skrysztalizowanych uzupełnień protetycznych odbywa się poprzez wykorzystanie specjalnych farbek i glazury Celtra Stains.

Ceramika skaleniowa

Ceramika skaleniowa należy do najbardziej tradycyjnych ceramik stosowanych w stomatologii. Jako pierwsza spośród ceramik została zastosowana w protetyce stomatologicznej.

W swoim składzie ceramika skaleniowa charakteryzuje się obecnością kwarcu, krzemianu glinowo-potasowego oraz tlenku glinu.

Do największej wady tego materiału zaliczymy małą wytrzymałość na zginanie, która waha się w przedziale 60-110 MPa. Tak niski poziom wytrzymałości na zginanie przyczynia się do dużej predyspozycji materiału do złamań.

Dodatkowo materiał ten charakteryzuje się dużą twardością (6,5 GPa wg Vickersa). W praktyce oznacza to, że uzupełnienie protetyczne wykonane z ceramiki skaleniowej wykazuje silne właściwości abrazyjne w stosunku do zębów własnych pacjenta w przeciwstawnym łuku.

Ceramika skaleniowa znajduje zastosowanie przy wykonawstwie takich prac protetycznych, jak licówki, wkłady koronowe czy pojedyncze korony frezowane w systemie CAD/CAM [20].

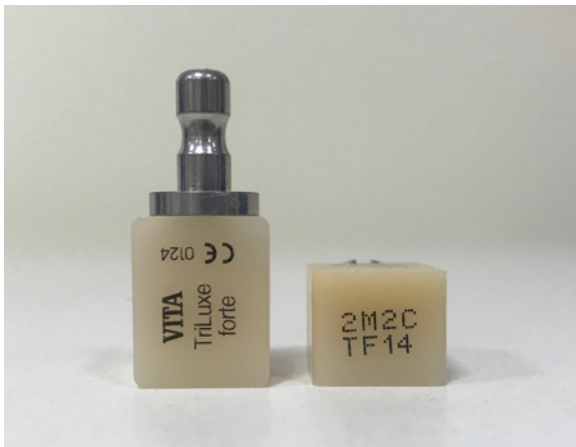
Do przedstawicieli tej ceramiki zaliczamy Vitablocs firmy Vita:

- o Monochromatyczny – Vitablocs Mark II (Fot. 5)
- o Multichromatyczne – Vitablocs Trilux Forte i Vitablocs Realife (Fot. 6).



Fot. 5 Błoczek ceramiczny VITA Mark II

Źródło: Dzięki uprzejmości Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław.



Fot. 6 Bloczek ceramiczny VITA Triluxe forte

Źródło: Dzięki uprzejmości Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław.



Fot. 7 Bloczek ceramiczny VITA Enamic

Źródło: Dzięki uprzejmości Pracownia Protetyczna DentalScan, ul. Władysława Jagiełły 3/9, 50-201 Wrocław.

Bloczki Vitablocs to bloczki oparte na ceramice skaleniowej charakteryzującej się drobnocząsteczkową strukturą. Pierwsze bloczki monochromatyczne zostały wprowadzone w 1990 roku, natomiast multichromatyczne Trilux Forte w 2007 roku, a Realife w 2010 roku.

Vitablocks w swoim składzie zawierają skalenie naturalne, takie jak skałen potasowy i skałen sodu. Wielkość ziaren zastosowanych surowców wynosi około 4 μm . Mikrostruktura bloczków zbudowana jest z drobnych frakcji krystalicznych, które układają się równomiernie w otaczającej je szklanej matrycy.

Bloczki te charakteryzują się wysoką przeziernością, dzięki czemu bardzo dobrze integrują się z kolorystyką pozostałych naturalnych zębów pacjenta.

Ze względu na wytrzymałość na zginanie około 150 MPa, materiały te nie są zalecane do wykonawstwa monolitycznych mostów.

Mark II jest to ceramika skaleniowa monochromatyczna. Zalecana do wykonawstwa wkładów, nakładów.

TRILUX FORTE ceramika multichromatyczna z ceramiki skaleniowej z zintegrowaną gradacją czterostopniową kolorów. Zalecana do wykonawstwa licówek i koron na zęby przednie.

REALIFE ceramika multichromatyczna z ceramiki kalcytowej z zintegrowanym rdzeniem zębinowym i otoczką ze szkliva. Całość odtwarza naturalne przechodzenie kolorów zęba od zębinowy do szkliva. Zalecana do wykonawstwa licówek i koron na zęby przednie.

Ceramika hybrydowa

Ceramika hybrydowa jest to ceramika połączona z kompozytem. Jest to materiał, który charakteryzuje się podwójną strukturą usieciowaną.

Przedstawicielem tego materiału jest Vita Enamic firmy Vita (Fot. 7). Został on wprowadzony w 2013 roku. Materiał ten cechuje się siatką ceramiczną połączoną z siatką polimerową. Dominuje siatka ceramiczna (86%), jednak obie całkowicie się przenikają. Vita Enamic jest materiałem wielowarstwowym.

Połączenie właściwości ceramiki i kompozytu spowodowało, że materiał ten charakteryzuje się znakomitą elastycznością, dużą odpornością na obciążenia, optymalnym rozłożeniem sił żucia, które absorbuje usieciowana budowa polimeru. Dodatkowo wykazuje właściwości optyczne zbliżone do naturalnych zębów. Zapewnia przewodność światła, dzięki czemu uzyskujemy naturalną grę kolorów uzupełnienia.

Materiał Vita Enamic można zastosować do wykonania pojedynczych uzupełnień, tj. wkłady koronowe, nakłady, licówki i korony.

Wyfrezowane uzupełnienie można poddać procesowi charakteryzacji z zastosowaniem farbek Vita Enamic Stains Kit oraz Vita Enamic Glaze, a następnie poddać procesowi polimeryzacji. Gotowe uzupełnienie cementujemy adhezyjnie.

Ceramika na bazie tlenku cyrkonu

Ceramika na bazie tlenku cyrkonu jest to ceramika, która charakteryzuje się największą wytrzymałością na zginanie spośród wszystkich ceramik.

Cyrkon pod względem chemicznym jest metalem przejściowym w układzie okresowym pierwiastków. Tlenek cyrkonu należy do grupy ceramicznych materiałów polimorficznych, które pozbawione są fazy szklistej i charakteryzuje się kryształami cyrkonu o wielkości ziaren 0,1-0,5 μm . Najbardziej pożądaną siecią krystaliczną i korzystną biochemicznie odmianą cyrkonu jest forma tetragonalna. Forma ta jest jedną z trzech odmian sieci krystalicznej, jakimi charakteryzuje się cyrkon. Formę tę można ustabilizować w temperaturze pokojowej poprzez dodanie itru [15].

Cyrkon swoją wysoką wytrzymałość zawdzięcza zjawisku transformacji wzmacniającej, która została opisana w 1975 roku. Zjawisko to hamuje rozprzestrzenianie się krytycznych mikropęknięć wewnątrz struktury materiału. Cyrkon charakteryzuje się najwyższą wytrzymałością na zginanie w przedziale 840-1200 MPa, czym w znaczący sposób przewyższa wszystkie pozostałe ceramiki. Dzięki tej właściwości cyrkon nadaje się do



wykonania uzupełnień protetycznych obejmujących całe łuki zębowe pacjenta, jak również znajduje zastosowanie w wykonawstwie pojedynczych koron czy mostów. Cyrkon ze względu na brak fazy szklistej cechuje się mniejszą przeziernością niż pozostałe ceramiki, dlatego rzadziej stosowany jest w odcinku przednim ze względu na mniejszą estetykę [21].

Rosnące zainteresowanie cyrkonem jako materiałem stosowanym w protetyce stomatologicznej wynika również z biokompatybilności tlenku cyrkonu. Przeprowadzone testy zarówno *in vitro*, jak *in vivo* jednoznacznie pokazują, że cyrkon nie powoduje zmian patologicznych w obrębie jamy ustnej [22, 23]. Dodatkowo cyrkon wykazuje mniejszą zdolność do kumulacji bakterii niż stopy tytanowe oraz zblizoną ilością gromadzącego się kamienia nązębnego jak wokół naturalnych zębów pacjenta [24, 25].

Przedstawicielem tej grupy materiału jest IPS e.max zirCAD. IPS e.max zirCAD jest to system bloczków z tlenku cyrkonu stabilizowanych tlenkiem itru, które muszą być poddane procedurowi spiekania. Materiał ten charakteryzuje się bardzo wysoką

wytrzymałością na zginanie na poziomie 850 MPa (IPS e.max ZirCAD MT Multi) i 1200 MPa (IPS e.max ZirCAD LT Multi).

Uzupełnienia protetyczne frezowane są w powiększeniu około 20-25%, uwzględniając skurcz materiału w wyniku procesu spiekania.

Wyróżniamy trzy typy bloczków: LT, MO, MT Multi.

LT – Low Translucent – ceramika monochromatyczna o niskim poziomie translucencji. Charakteryzuje się bardzo wysoką wytrzymałością na zginanie (1200 MPa). Materiał odpowiedni do wykonywania pojedynczych koron i trzypunktowych mostów.

MO – Medium Opacity – ceramika monochromatyczna wyprodukowana do klasycznej metody licowania. Charakteryzuje się niską translucencją, średnią opakerością, dzięki czemu jest w stanie zakryć przebarwienia oszlifowanych filarów zęba oraz metalowe wkłady. Materiał znajduje zastosowanie w frezowanych podbudowach.

MT Multi – Medium Translucent Multi – jest to ceramika multichromatyczna, składająca się z dwóch różnych tlenków

Tabela 1 Porównanie parametrów minimalnej grubości wybranych ceramik

Rodzaj uzupełnienia	Minimalna grubość obszarów [mm]	Ceramika szklana				Ceramika skaleniowa	Ceramika hybrydowa	Ceramika na bazie tlenku cyrkonu
		wzmacniana leucytem	Wzmacniana dwukrzemianem litu	wzmacniana dwukrzemianem litu z tlenkiem cyrkonu	Suprinity			
Licówki	Brzeg sieczny	0,7	0,7	1,0	0,7	0,5	0,3	-
	Powierzchnia wargowa	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	-
	Przyszyjkowo	0,6	0,6	0,4	0,4	0,2	0,2	-
Nakłady/wkłady	Bruzdy międzyguzkowe	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	-
	Cieśń guzkowa	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	-
	Guzki	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	-
Korona w odcinku przednim	Brzeg sieczny	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,8
	Okrężna ścianki	1,5	1,2	1,5	1,2	1,0	0,8	0,8
	Przyszyjkowo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
Korona w odcinku bocznym	Bruzdy międzyguzkowe	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0
	Guzków	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0
	Okrężna ścianki	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,8	1,0
	Przyszyjkowo	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0

Źródło: [26-32].

Tabela 2 Porównanie parametrów wybranych ceramik

Przedstawiciel	Ceramika szklana			Ceramika skaleniowa	Ceramika hybrydowa	Ceramika na bazie tlenku cyrkonu	
	wzmacniana leucytem	wzmacniana dwukrzemianem litu	wzmacniana dwukrzemianem litu z tlenkiem cyrkonu				
IPS Empress CAD	IPS e.max CAD	Celtra	Suprinity	Mark II, Trilux Forte, Realife	Enamic	IPS e.max zirCAD	
Wytrzymałość na zginanie	160 MPa	130-150MPa → 360 MPa	210 MPa → 370 MPa	420 MPa	154 MPa	150-160 MPa	860-1200 MPa
Skala twardości wg Vickersa	6200 MPa	5800 MPa	b.d.	7000 MPa	b.d.	2500 MPa	b.d.
Elastyczność (Moduł E)	b.d.	95 GPa	b.d.	70 GPa	b.d.	30 GPa	b.d.
Cementowanie	Adhezyjne	Adhezyjne	Adhezyjne	Adhezyjne	Adhezyjne	Adhezyjne	Klasyczne

Źródło: [26-32].




cyrkonu o różnych poziomach translucencji. Połączenie dwóch materiałów zapewnia optymalną jasność w rejonie zębiny oraz wysoką przezierność w obszarze brzegu siecznego. Bloczki IPS e.max ZirCAD MT Multi składają się w 60% z obszaru zębiny, 20% obszaru przejściowego i 20% obszaru brzegu siecznego. Taki podział gradacji koloru odwzorowuje optykę i kolorystykę naturalnych zębów. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością na zginanie (850 MPa). Zalecany do wykonawstwa koron w odcinku bocznym i przednim oraz mostów trzypunktowych.

Wyfrezowane uzupełnienia po procesie spiekania mogą być poddane procesowi polerowania lub glazurowania.

Podsumowanie

Dynamiczny rozwój technologii CAD/CAM powoduje stopniowe zastępowanie nimi klasycznych metod laboratoryjnych wykonywania prac protetycznych, takich jak odlewanie stopów dentystycznych oraz napalanie ceramiki na podbudowę metalową. Głównymi zaletami tej technologii jest niewątpliwe skrócenie czasu oczekiwania pacjenta na docelową rehabilitację protetyczną oraz brak nieprzyjemności związanych z pobraniem wyiskiu. Prace powstałe w technologii CAD/CAM charakteryzują się wysoką precyzją oraz szczelnością brzezną. Niestety wadą takich systemów jest przede wszystkim ich wysoki koszt.

W dążeniu do osiągnięcia jak największej estetyki i wytrzymałości prac protetycznych wyeliminowano metal na rzecz prac pełnoceramicznych. Ceramika posiada takie właściwości, jak: biokompatybilność, mała podatność adherencji płytki bakteryjnej, stabilność koloru. Cechy te oraz nieustanne prace nad zwiększeniem jej wytrzymałości pozwalają na rehabilitację protetyczną zarówno w odcinku bocznym, jak i przednim estetycznym.

Celem naszej pracy było przedstawienie spójnego porównania parametrów wybranych systemów ceramicznych. Właściwy dobór materiału z uwzględnieniem jego właściwości fizyczno-mechanicznych, sytuacji klinicznej pozwala na zminimalizowanie ryzyka powikłań oraz osiągnięcie długotrwałego sukcesu terapeutycznego w codziennej praktyce lekarza dentysty. 

Literatura

- S. Majewski, M. Pryliński: *Materiały i technologie współczesnej protetyki stomatologicznej*, red. Bis B., wyd. 1, Wydawnictwo Czelej Sp. z o.o., Lublin 2013, 143.
- R. van Noort: *The future of dental devices is Digital*, Dent Mater., 28, 2012, 3-12.
- W.H. Mörmann: *The evolution of the CEREC system*, J Am Dent Assoc., 137, 2006, 7-13.
- B. Dejak: *Wykonywanie różnych uzupełnień protetycznych z zastosowaniem współczesnych systemów CAD/CAM*, Magazyn Stomatologiczny, 7-8, 2018, 12-23.
- K. Bębenek, A. Błaszczak, J. Kiryk, D. Kotowski, K. Kowalska, T. Szczygielski, E. Mazgajczyk, P. Szymczyk, G. Badora, E. Bryła, M. Dobrzyński, Z. Rybak: *Zastosowanie technologii CAD/CAM w stomatologii odtwórczej – przegląd piśmiennictwa*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 5(3), 2016, 99-104.
- K. Lasek, E. Mierzińska-Nastalska, P. Okoński: *Kliniczne zastosowanie wybranych materiałów ceramicznych*, Protet. Stomatol., 62(3), 2012, 181-189.
- K. Ahmed: *We're going digital: The current state of CAD/CAM dentistry in prosthodontics*, Prim Dent J., 7(2), 2018, 30-35.
- M. Zaruba, A. Mehl: *Chairside systems: a current review*, International Journal of Computerized Dentistry, 20(2), 2017, 123-149.
- M. Blatz, J. Conejo: *The Current state of chairside digital dentistry and materials*, Dent Clin N Am, 63, 2019, 175-197.
- T. Bartkowiak, M. Idzior-Hauda, W. Hędzielek: *Materiały stosowane w technologii CAD/CAM – przegląd piśmiennictwa*, Jurnal of Stomatology, 68(3), 2015, 304-321.
- D. Poticny, J. Klim: *CAD/CAM in-office technology*, JADA, 141, 2010, 5-7.
- B. Dejak (red.): *Kompendium wykonywania uzupełnień protetycznych*, Wyd. Med Tour Press International, Otwock 2014.
- M. Gajewska, T. Dąbrowa: *Współczesne systemy CAD/CAM i ich możliwości stosowania w protetyce stomatologicznej – przegląd piśmiennictwa*, Stomatologia Współczesna, 22(3), 2015, 35-40.
- G. Helvey: *A history of dental ceramics*, Compendium, 31, 2010, 309-311.
- E.E. Daou, M. Al-Gotmeh: *Zirconia Ceramic: A Versatile Restorative Material*, Dentistry, 4, 2014, 1-6.
- S. Majewski: *Nowe technologie wytwarzania stałych uzupełnień zębowych: galwanoforming, technologia CAD/CAM, obróbka tytanu i współczesne systemy ceramiczne*, Protet. Stomatol., 57(2), 2007, 124-131.
- I. Ahmad: *Przegląd systemów pełnoceramicznych*, Stomatologia estetyczna, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2007.
- I. Ahmad: *Przegląd systemów pełnoceramicznych. Stomatologia estetyczna*, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2007.
- B. Dejak, M. Kacprzak, B. Suliborski, B. Śmielak: *Struktura i niektóre właściwości ceramiki dentystycznych stosowanych w uzupełnieniach pełnoceramicznych w świetle literatury*, Protet. Stomatol., 56(6), 2006, 471-477.
- I. Ahmad: *Przegląd systemów pełnoceramicznych. Stomatologia estetyczna*, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2007.
- B. Dejak, M. Kacprzak, B. Suliborski, B. Śmielak: *Struktura i niektóre właściwości ceramiki dentystycznych stosowanych w uzupełnieniach pełnoceramicznych w świetle literatury*, Protet. Stomatol., 56(6), 2006, 471-477.
- P. Szczyrek, P. Okoński: *Systemy ceramiczne bez podbudowy metalowej*, Protet. Stomatol., 51(6), 2001, 323-329.
- M. Porada: *Podział i zastosowanie ceramiki dentystycznych w zależności od ich budowy chemicznej – na podstawie piśmiennictwa*, Nowoczesny Technik Dentystyczny, 1, 2015.
- E.E. Daou, M. Al-Gotmeh: *Zirconia Ceramic: A Versatile Restorative Material*, Dentistry, 4, 2014, 1-6.
- P. Okoński, K. Lasek, E. Mierzińska-Nastalska: *Kliniczne zastosowanie wybranych materiałów ceramicznych*, Protet. Stomatol., 62(3), 2012, 181-189.
- V. Covacci, N. Bruzzese, N. Maccauro, C. Andreassi, G.A. Ricci: *In vitro evaluation of the mutagenic and carcinogenic power of high purity zirconia ceramic*, Biomaterials, 20, 1999, 371-376.
- A. Scarano, F. Di Carlo, M. Quaranta, A. Piattelli: *Bone response to zirconia ceramic implants: an experimental study in rabbits*, Journal of Oral Implantology, 29, 2003, 8-12.
- J.R. Kelly: *Dental ceramics: current thinking and trends*, Dental Clinics of North America, 48, 2004, 513-530.
- P. Vult von Steyern, P. Carlson, K. Nilner: *All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study*, Journal of Oral Rehabilitation, 32, 2005, 180-187.
- IPS EMPRESS CAD – Preparation Guidelines.
- IPS E.MAX CAD – Instrukcja pracy z materiałem chaiside.
- CELTRA DUO – Guidelines for processing Celtra Duo.
- VITA SUPRINITY PC. Instrukcja obróbki materiału.
- VITABLOCS – Instrukcja obróbki materiału.
- VITA ENAMIC – Instrukcja obróbki materiału.
- IPS E.MAX ZirCAD Chairside – Instructions for Use.