

CAD/CAM dentistry – review of materials based on literature

Materialy stosowane w technologii CAD/CAM – przegląd piśmiennictwa

Tomasz Bartkowiak, Małgorzata Idzior-Haufa, Wiesław Hędzerek

Katedra i Klinika Protetyki Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu, Polska
Chair and Clinic of Dental Prosthetics, the K. Marcinkowski Medical University in Poznan, Poland
Head: prof. dr hab. W. Hędzerek

Abstract

CAD/CAM systems allow dental practitioners to provide their patients with chairside-produced restorations. Materials for these restorations comprise blocks made of feldspathic, leucite- and lithium disilicate-reinforced ceramics and nanoceramics. These materials are suitable for fabricating veneers, inlays, onlays and crowns. CAD/CAM blocks are structurally reliable, homogenous materials with little internal voids resulting in better mechanical properties than their laboratory counterparts. CAD/CAM restorations from feldspathic ceramics are aesthetic, but have inferior mechanical properties than reinforced ceramics. The main failure causes are ceramic and tooth fracture. Reinforced ceramics offer higher flexural and fracture strength confirmed by in vitro studies but not many long-term clinical studies are available. Literature on nanoceramics includes in vitro studies and case reports. Chairside CAD/CAM restorations are a reliable option for single-tooth restorations, but the use of newer materials requires further clinical investigation. The choice of the best material to match the clinical situation is a dentist's task and many factors must be taken into account.

Streszczenie

Technologia CAD/CAM pozwala wykonywać uzupełnienia protetyczne podczas jednej wizyty. Materiały, z których wykonuje się uzupełnienia to bloczki ceramiki szpatu polnego, ceramik wzmocnianych leucytem lub dwukrzemianem litu, a także nanoceramiki kompozytowej. Z powyższych materiałów można wykonywać licówki, wkłady koronowe, nakłady oraz korony protetyczne. Bloczki przeznaczone do technologii CAD/CAM są jednorodnymi materiałami z niewielką liczbą wewnętrznych defektów, co skutkuje lepszymi właściwościami mechanicznymi niż ich odpowiedniki laboratoryjne. Uzupełnienia wykonane z ceramiki szpatu polnego są estetyczne, lecz mają gorsze właściwości mechaniczne niż ceramiki wzmocniane. Główną przyczyną niepowodzeń są złamania uzupełnienia lub zęba filarowego. Ceramiki wzmocniane charakteryzują się wyższymi parametrami wytrzymałości mechanicznej potwierdzonymi badaniami in vitro, lecz wciąż niewiele długookresowych badań klinicznych jest dostępnych. Literatura dotycząca nanoceramiki kompozytowej obejmuje badania in vitro oraz opisy pojedynczych przypadków. Uzupełnienia protetyczne wykonywane w technologii CAD/CAM podczas jednej wizyty są sprawdzoną alternatywą dla odbudowy pojedynczych zębów, lecz zastosowanie nowszych materiałów wymaga dalszych badań. Wybór odpowiedniego materiału do danej sytuacji klinicznej jest zadaniem lekarza dentysty i wymaga uwzględnienia wielu czynników.

KEYWORDS:

computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM), inlay, onlay, all ceramic restoration, dental materials

HAŚŁA INDEKSOWE:

technologia CAD/CAM, inlay, onlay, uzupełnienia pełnoceramiczne, materiały dentystyczne

Introduction

The dynamic development of prosthodontics is connected with the demand for achieving best possible aesthetics of prosthetic restorations. High patients' expectations towards prosthetic treatment make it necessary to introduce new, advanced technologies and materials. Application of computer-aided-design (CAD) and computer-aided-manufacturing (CAM) technology in dentistry has opened wide possibilities in dental treatment. The origin of CAD/CAM technology can be traced to 1980s, when W. Mörmann and M. Brandestini created the CAD/CAM prototype system named Cerec 1. The system consisted of an intraoral optical scanner, a computer with special software and a milling device, which transformed digital data into the prosthetic restoration. According to the idea of the creators, all parts of the system were located at the dental office, chairside, making it possible to prepare restorations at one single appointment only. Such a proceeding eliminates the necessity of taking impressions, fabricating temporary restorations and cooperation with a dental laboratory. The materials for fabricating CAD/CAM restorations are blocks mounted on a mandrel for placing in the milling device. The CAD/CAM technology enables the use of several different materials: glass ceramics, such as feldspar, leucite- or lithium disilicate-reinforced ceramics, crystalline ceramic materials like alumina, yttrium-stabilized zirconium dioxide or composite materials. Not all of the mentioned materials are suitable for fabricating restorations at the chairside. The main criteria for the material to be applicable in a chairside procedure are quick milling without damaging the material and short post-milling processing time. These requirements are fulfilled by feldspar glass ceramics, leucite-, lithium disilicate-reinforced ceramics, composite materials and newer resin nanoceramics.¹⁻⁴

The aim of the study is to present the characteristics and performance of the ceramic materials for chairside CAD/CAM restorations with regard to *in-vitro* and clinical data.

Feldspar ceramics

The first CAD/CAM ceramic inlay fabricated

Wstęp

Dynamiczny rozwój protetyki stomatologicznej, obserwowany w ostatnich latach, związany jest między innymi z dążeniem do uzyskania jak najlepszej estetyki stosowanych uzupełnień. Duże oczekiwania pacjentów dotyczące leczenia protetycznego zmuszają do wprowadzania nowych, zaawansowanych technologii oraz materiałów. Szerokie możliwości dało wykorzystanie w stomatologii koncepcji wspomaganego komputerowo projektowania (CAD – computer-aided-design) i produkcji (CAM – computer-aided-manufacturing). Historia zastosowania tej technologii w stomatologii sięga lat 80. XX wieku, kiedy prof. W. Moermann i dr M. Brandestini stworzyli prototypowy system CAD/CAM CEREC 1. System ten składał się z wewnątrzustnego skanera optycznego, komputera z oprogramowaniem oraz frezarki, która przekształcała dane cyfrowe w ostateczne uzupełnienie protetyczne. Zgodnie z ideą twórców, wszystkie elementy systemu znajdowały się w gabinecie stomatologicznym, przy pacjencie (ang. chairside/in-office), umożliwiając wykonywanie uzupełnień protetycznych podczas jednej wizyty. Postępowanie takie eliminuje konieczność wykonania wycisków, współpracy z laboratorium technicznym, a także przygotowywania i cementowania uzupełnień tymczasowych. Materiały przeznaczone do wykonywania uzupełnień protetycznych w technologii CAD/CAM konfekcjonowane są w postaci bloczków połączonych ze specjalną mandrylą, za pomocą której mocuje się je we frezarce. Technologia CAD/CAM daje możliwość zastosowania ceramiki szklanych: ceramiki szpatu polnego, wzmacnianej leucytem lub dwukrzemianem litu, ceramiki krystalicznych, w tym aluminy bądź tlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itru oraz materiałów kompozytowych. Nie wszystkie z wymienionych materiałów znajdują zastosowanie w wytwarzaniu uzupełnień w trybie jednowizytowym. Kluczowymi wymaganiami decydującymi o przydatności materiału w procedurze chairside jest możliwość szybkiego frezowania bez uszkodzenia oraz krótki czas wykończenia uzupełnienia po frezowaniu. Warunki te spełniają ceramika skaleniowa, cera-

chairside by Moermann and Brandestini was milled from a feldspathic ceramic block.² Feldspathic ceramics can be classified by the microstructure into the group of glass ceramics.⁵ The representative of this group of materials on the market is Mark II block, manufactured by Vita (Vita Zahnfabrik, Germany). The block consists of amorphous glassy matrix with feldspar crystalline particles with an average size of 4 μm embedded in it.⁶ The composition and structure of the material determines its physical properties, which in turn influence clinical application and performance of restorations. They are vital properties differentiating materials from each other and are represented by flexural strength, fracture toughness and material's hardness.³ The flexural strength of Mark II block, determined with 3-point bending test is 94.08 ± 14.21 MPa.⁷ The fracture toughness can be defined as the amount of energy necessary for fracture initiation in material's structure and is expressed by the fracture toughness coefficient, which ranges from 1.37 ± 0.22 MPa \times m^{1/2} for Mark II block.⁶⁻⁸ The sites in ceramics' microstructure where fractures may be initiated are internal defects and flaws such as voids or cracks at material's phase interface. The more flaws or the more densely they are dispersed in the material's structure, the greater the probability of the restoration's fracture. The number and distribution of internal structure flaws depend on processing technology of the ceramic material.⁹ Strictly controlled, industrial manufacturing of CAD/CAM blocks results in creating a dense, monolithic and structurally reliable material with minimized amount of defects or flaws, which advantageously influences its mechanical properties.^{10,11}

Physical strength of restorative material is not only the outcome of its structure or composition. It is influenced to a certain extent by the cementation procedure of the milled restoration. Mark II block, which contains glassy matrix in its composition, permits adhesive cementation. The clinical cementation procedure should be preceded by performing clinical control of the restoration. The first step of adhesive cementation is etching the inner surface of the restoration

miki wzmacniane kryształami leucytu bądź dwukrzemianu litu, materiały kompozytowe oraz nanoceramika kompozytowa.¹⁻⁴

Celem pracy jest przedstawienie materiałów ceramicznych stosowanych do wykonywania stałych uzupełnień protetycznych w trybie jednowizytowym w świetle dostępnych badań *in-vitro* oraz klinicznych.

Charakterystyka ceramiki skaleniowej

Pierwszy wkład koronowy wykonany przez *Mormanna* i *Brandestini*ego w procedurze chairside został wyfrezowany z bloczka ceramiki skaleniowej.² Ceramika ta należy do grupy ceramik szklanych.⁵ Obecnie na rynku dostępny jest bloczek Mark II produkowany przez firmę VITA (Vita Zahnfabrik, Niemcy). Materiał ten składa się ze szklanej, amorficznej matrycy oraz zatopionych w niej kryształów skaleni o średniej wielkości 4 μm .⁶ Skład materiału wpływa na jego ostateczne cechy fizyczne, które z kolei determinują kliniczne wykorzystanie materiału. Właściwości mechaniczne różnicują poszczególne grupy materiałów od siebie; są to wytrzymałość na zginanie, odporność na kruche pękanie oraz twardość.³ Bloczek Mark II charakteryzuje się wytrzymałością na zginanie, określoną za pomocą testu trójpunktowego zginania rzędu 94.08 ± 14.21 MPa.⁷ Dla ceramik, będących twardymi, lecz kruchymi materiałami istotną cechą mechaniczną jest odporność na kruche pękanie, którą wyraża współczynnik intensywności naprężeń K1C. Określa on ilość energii potrzebną do zapoczątkowania złamania i dla bloczka Mark II wynosi 1.37 ± 0.22 MPa \times m^{1/2}.⁶⁻⁸ Miejskami, w których w strukturze materiału dochodzi do zapoczątkowania złamania są wewnętrzne defekty mikrostruktury, takie jak pory czy mikropęknięcia na granicy faz. Im strukturalnych defektów więcej i im gęściej są rozmieszczone, tym łatwiej dochodzi do pęknięć i w efekcie do złamania uzupełnienia. Liczba i rozmieszczenie defektów zależą od technologii obróbki materiału.⁹ Produkcja bloczków ceramicznych przeznaczonych dla technologii CAD/CAM odbywa się przemysłowo.¹⁰ Ścisłe kontrolowany przemysłowy proces produkcji bloczków

with 5% hydrofluoric acid in order to create micromechanical retention for composite resin luting cement. The etching time should not exceed 60 seconds and after that the etchant should be thoroughly rinsed with water. *Magne* and *Belser*¹² recommend ultrasonic cleaning of the restoration for 4-5 minutes in 95% alcohol in order to remove molecules that precipitated during etching. Subsequently silane coupling agent should be applied in 2-3 layers to the etched surface using a microbrush; after the application of each layer it is necessary to wait until the solvent evaporates. This procedure creates the chemical bond between the ceramic material and the adhesive, which is applied in one layer and thinned with a stream of air. The last step in preparing the restoration is the application of composite-resin luting cement onto the prepared surface; then the restoration should be covered and protected from light while the tooth surface is being processed. The procedures for tooth preparation may vary depending on the type and generation of dentine bonding agent used. It is crucial to be familiar with the bonding agent's manual. This step is followed by insertion of the restoration and light-curing of the composite luting cement. Each surface of the restoration should be cured for 40 seconds; it is recommended to isolate the restoration with oxygen protection gel while polymerizing the resin cement. Removing excess of the cement and finishing composite line is the last step of the procedure. Both *in-vitro* and clinical data indicate the necessity of adhesive seating of feldspathic ceramics restorations. The fracture strength of adhesively cemented feldspathic CAD/CAM anatomic crowns was 2392 N and significantly exceeded the corresponding restorations in the control group cemented with zinc-phosphate cement (1270 N) ($P < 0.001$). The measured parameter was equal to that of lithium-disilicate reinforced ceramic crowns (2389 N).^{13,14} In their study, *Attia* and *Kern*¹⁵ compared the fracture load of Mark II and ProCAD crowns with sound natural teeth and revealed no significant difference in this parameter among the tested specimen ($P < 0.05$). The result is in accordance with the research of *Mehl* et al.,¹⁶ and *Bremer* et al.¹⁷ proved that even

proceeds to the formation of a dense, homogeneous material with a minimized value of defects in the microstructure, which positively influences the mechanical properties of the material.^{10,11}

Physical durability is not only a characteristic of the material, but also depends on the method of cementation and filling. In the case of Mark II, the content of the glass phase in the material structure enables adhesive cementation. The cementation procedure should be preceded by a clinical control of the prepared filling. The first step is the application of 5% hydrofluoric acid to the internal surface of the filling in order to create micromechanical retention for the composite resin. The action time of the acid should be 60 seconds, after which the filling should be thoroughly rinsed. *Magne* and *Belser*¹² recommend ultrasonic cleaning of the filling in 95% alcohol for 4-5 minutes. Subsequently, a silane coupling agent should be applied in 2-3 layers to the etched surface using a microbrush; after the application of each layer it is necessary to wait until the solvent evaporates. This procedure creates the chemical bond between the ceramic material and the adhesive, which is applied in one layer and thinned with a stream of air. The last step in preparing the restoration is the application of composite-resin luting cement onto the prepared surface; then the restoration should be covered and protected from light while the tooth surface is being processed. The procedures for tooth preparation may vary depending on the type and generation of dentine bonding agent used. It is crucial to be familiar with the bonding agent's manual. This step is followed by insertion of the restoration and light-curing of the composite luting cement. Each surface of the restoration should be cured for 40 seconds; it is recommended to isolate the restoration with oxygen protection gel while polymerizing the resin cement. Removing excess of the cement and finishing composite line is the last step of the procedure. Both *in-vitro* and clinical data indicate the necessity of adhesive seating of feldspathic ceramics restorations. The fracture strength of adhesively cemented feldspathic CAD/CAM anatomic crowns was 2392 N and significantly exceeded the corresponding restorations in the control group cemented with zinc-phosphate cement (1270 N) ($P < 0.001$). The measured parameter was equal to that of lithium-disilicate reinforced ceramic crowns (2389 N).^{13,14} In their study, *Attia* and *Kern*¹⁵ compared the fracture load of Mark II and ProCAD crowns with sound natural teeth and revealed no significant difference in this parameter among the tested specimen ($P < 0.05$). The result is in accordance with the research of *Mehl* et al.,¹⁶ and *Bremer* et al.¹⁷ proved that even

extensive intracoronary CAD/CAM restorations cemented adhesively cause stabilization effect on weakened tooth cusps and reinforce the abutment's structure. According to *in-vitro* studies on the mechanical properties, CAD/CAM feldspathic ceramic blocks can be used to fabricate inlays, onlays, veneers, or full-anatomic crowns as an aesthetic alternative to gold alloys or porcelain-fused-to-metal. Feldspathic ceramics, as a glass ceramic material, has perfect optical properties. Mark II blocks are manufactured in many colors in accordance with VITAPAN Classical and 3D-Master shade guides (Vita Zahnfabrik). The major factor to achieve satisfactory and long-lasting aesthetic results is proper finishing of restoration's surface. The aim is to achieve smooth and glossy surface. The restoration's surface may be polished by the dentist after seating, or stained and glazed before cementation.¹⁸ Herrguth et al.¹⁹ proved that all-ceramic anterior crowns milled from an individually stained Mark II monochromatic block are aesthetically acceptable and match crowns fabricated using the layering technique. In order to meet patients' expectations concerning aesthetics Vita offers multicoloured machinable blocks which contain a gradient of colors and translucencies called Vita Triluxe and Vita Triluxe Forte (Vita Zahnfabrik, Germany). According to the manufacturer's data, these blocks are dedicated for machining anterior crowns, recreating natural coloristic complexity of natural teeth and improving restoration's aesthetics. Research, however, revealed no proof confirming that assumption.²⁰

Finishing the surface of ceramic restoration is of importance not only for its aesthetic properties. After seating the restoration, it may be necessary to control and correct occlusal contacts of the restoration. The procedure should be conducted using diamond burs with grain size of 40 μm (red coding) ensuring sufficient water-cooling. It is necessary to finish and polish the restoration surface after occlusal adjustments. For this purpose, abrasive Sof-Lex discs (3M Espe) and fine-grit abrasive diamonds may be used. Final high-gloss polishing is achieved by using Occlubrush (Hawe Neos) recommended by the material's

wskazują na konieczność adhezyjnego cementowania uzupełnień z ceramiki skaleniowej. Siła złamania dla koron CAD/CAM z ceramiki skaleniowej cementowanych adhezyjnie wyniosła 2392 N będąc istotnie wyższą niż dla grupy kontrolnej cementowanej konwencjonalnie z użyciem cementu tlenkowo-cynkowo-fosforanowego (1270 N) ($P < 0.001$) i dorównywała sile złamania koron z ceramiki dwukrzemianu litu (2389 N).^{13,14} Attia i Kern¹⁵ porównując siłę złamania dla koron z materiałów Mark II oraz ProCAD z grupą kontrolną zębów naturalnych wykazali, że nie było między nimi pod tym względem istotnej różnicy ($P < 0.05$). Potwierdzają ten fakt badania Mehla i wsp.¹⁶ oraz Bremer i wsp.,¹⁷ którzy wykazali, że nawet rozległe wewnątrzkoronowe uzupełnienia CAD/CAM cementowane adhezyjnie wywierają efekt stabilizujący osłabione guzki i strukturę zęba filarowego. Z badań laboratoryjnych nad właściwościami mechanicznymi wynika, że ceramika skaleniowa może być zastosowana jako materiał do wykonywania wkładów koronowych, nakładów, licówek lub pełnych koron w technologii CAD/CAM jako estetyczna alternatywa dla stopów złota lub metalu licowanego ceramiką. Ceramika skaleniowa, będąc ceramiką szklaną, charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami optycznymi. Bloczki Mark II produkowane są w kolorach zgodnych z kolornikami VITAPAN Classical i 3D-Master (Vita Zahnfabrik, Niemcy). Dowiedziono, że aby uzyskać zadowalający i trwały efekt estetyczny, kluczowe jest właściwe wykończenie uzupełnienia, którego celem jest uzyskanie gładkiej i lśniącej powierzchni. Powierzchnia odbudowy protezyjnej może być wypolerowana przez lekarza po zacementowaniu lub barwiona i glazurowana przed osadzeniem.¹⁸ Herrguth i wsp.¹⁹ wykazali, że pełnoceramiczne korony w odcinku przednim frezowane z monochromatycznego bloczka Mark II indywidualnie barwione są estetycznie akceptowalne i dorównują pod tym względem koronom wykonywanym techniką licowania. Firma Vita oferuje także bloczki niejednolite, z gradientem różnych odcieni przebiegającym od środka bloczka na zewnątrz lub od dołu do jego górnej części. Są to bloczki Vita Triluxe oraz Triluxe Forte (Vita Zahnfabrik, Niemcy). Według danych

manufacturer with diamond polishing paste at low speed range, with water-cooling. Rinsing the polishing paste from the restoration with water completes the procedure. Proper restoration's surface finishing is of great importance, since any surface roughness of ceramic material contributes to excessive wear of enamel of antagonistic teeth and negatively influences mechanical properties of the material. Excessive wear of antagonistic teeth is the result of substantial hardness of ceramics. Laboratory studies, though, indicated that machinable feldspathic ceramics Mark II does not cause significantly greater antagonistic enamel wear in comparison with enamel-enamel contact serving as control group ($p > 0.05$). The investigated rate of wear was lower than that for CAD/CAM leucite- or lithium disilicate-reinforced ceramics, but the differences were not statistically valid ($p > 0.05$).²¹

Feldspathic ceramics – review of clinical data

Clinical data available on machinable feldspathic blocks concern mostly Vita Mark II block and its predecessor, Mark I. *Otto* and *De Nisco*²² fabricated 200 CAD/CAM Mark I inlays and onlays using the CEREC 1 system (Sirona, Bensheim, Germany). After 10-year observation period, the Kaplan-Meier survival probability was 90.4%. 8% of the restorations were qualified as failures with the main cause being restoration's critical fracture (53%) and restored tooth's cusp fracture (20%). The fracture of the restoration occurred mostly in its thinnest part, isthmus or margin. These authors also showed that extensive 3-surface restorations had significantly lower survival probability than less extensive inlays ($p < 0.05$), but these conclusions were not supported by other studies.²³ After 17-year observation period the survival probability dropped to 88.7%.²⁴ This rate may be referred to 87% survival probability for cast gold inlays considered to be a golden standard for this type of restorations.²⁵ *Martin* and *Jedynakiewicz*²⁶ conducted a systematic review of the available literature concerning adhesively cemented intracoronary inlay and onlay CEREC restorations. The authors reviewed fifteen papers

producenta są one przeznaczone do frezowania koron w odcinku przednim, naśladując złożoność kolorystyczną zębów naturalnych i poprawiając estetykę. Nie znaleziono jednak dowodów potwierdzających te założenia.²⁰

Wykończenie powierzchni materiału ceramicznego ma znaczenie nie tylko dla ostatecznych właściwości optycznych uzupełnienia. Po zacementowaniu uzupełnienia konieczna może być korekta okluzji, którą producent zaleca przeprowadzać za pomocą wiertel z nasypem diamentowym o średnicy ziaren 40 μm (oznaczone czerwonym paskiem kodowym) z równoczesnym chłodzeniem wodnym. Po każdej korekcie niezbędne jest końcowe opracowanie powierzchni uzupełnienia. W tym celu stosuje się krążki ściernie, na przykład Sof-Lex (3M Espe) w kolejności od najbardziej do najmniej abrazyjnego zapewniając odpowiednie chłodzenie wodne. Ostateczne polerowanie na wysoki połysk wykonuje się stosując szczoteczkę, na przykład rekomendowaną przez producenta Occlubrush (Hawe Neos) wraz z diamentową pastą polerską, którymi poleruje się powierzchnie uzupełnienia na niskich obrotach z chłodzeniem wodnym do uzyskania wysokiego połysku. Po spłukaniu pozostałości pasty procedura jest zakończona. Odpowiednie wykończenie powierzchni uzupełnienia jest istotne, gdyż szorstkość powierzchni materiału ceramicznego przyczynia się do zwiększonego ścierania szkliwa zębów przeciwstawnych i negatywnie wpływa na właściwości mechaniczne materiału. Nadmierne starcie powierzchni zębów przeciwstawnych jest wynikiem wysokiej twardości materiałów ceramicznych. Jednak w badaniach laboratoryjnych wykazano, że ceramika skaleniowa Mark II nie powodowała istotnie wyższego starcia szkliwa zębów przeciwstawnych w porównaniu do próby kontrolnej (szkliwo-szkliwo) ($P > 0,05$). Stopień starcia był mniejszy niż dla ceramiki CAD/CAM wzmocnionej leucytem lub dwukrzemianem litu, jednak różnice nie były statystycznie istotne ($P > 0,05$).²¹

Ceramika skaleniowa – przegląd danych klinicznych

Literatura dysponuje szeregiem badań oceniających kliniczne zastosowanie bloczka Mark II

published from 1986 to 1997. The mean survival rate of CEREC restorations was 97.4% after 4.2 years of clinical performance. The main identified failure cause was the fracture of the restoration. Other problems raised by authors in the discussion included postoperative sensitivity and wear of composite-resin cement. *Fasbinder*²⁷ attributes the postoperative sensitivity, which was reported especially in earlier clinical studies, to premature occlusal contacts and adverse influence of some older generations of luting materials. More recent clinical data accompanied by the improvement in dental adhesive materials and luting cements reported fewer postoperative sensitivity cases.²⁸ A phenomenon, which has been reported more often in clinical studies, is submargination. Submargination is caused by wear of luting composite materials.²⁶ *Molin* and *Carlsson*²⁸ described submargination occurrence in 70% of Mark II CAD/CAM inlays. In comparison, the same authors identified the phenomenon of submargination in only 20% of cast gold inlays in the same period. These results are true for other authors' observations.^{22,27} Submargination should not be identified as recurrent caries, as the studies indicate that the incidence of recurrent caries associated with CAD/CAM feldspar ceramic inlays is low.^{22,26,27} The marginal gap at the tooth-luting cement-restoration interface varies depending on the generation of machining system used, and is satisfactory for Cerec Mark II restorations.^{29,30}

Leucite-reinforced Glass ceramics

The next group of materials used for fabricating chairside CAD/CAM restorations are leucite-reinforced ceramic blocks. This category of materials is represented by ProCAD and Empress CAD (Ivoclar Vivadent). These blocks are dedicated for CAD/CAM technology counterparts of IPS Empress used in heat-pressing technique. ProCAD and Empress CAD, similarly to the described above feldspathic ceramics, can be classified into the group of glass ceramics. The main structural difference between leucite-reinforced and feldspathic ceramics is the incorporation of leucite crystalline particles with an average size of 1-5 μm ,

oraz jego poprzednika, *Mark I. Otto* i *De Nisco*²² wykonali 200 wkładów koronowych i nakładów z ceramiki skaleniowej Mark I z użyciem systemu CEREC 1 (Sirona, Bensheim, Niemcy). Po 10-letnim okresie obserwacji prawdopodobieństwo przeżycia wg analizy Kaplana-Meiera wyniosło 90,4%. 8% uzupełnień zakwalifikowano jako niepowodzenia kliniczne, których głównymi przyczynami były złamanie uzupełnienia (53%) lub złamanie guzka rekonstruowanego zęba (20%). Złamanie uzupełnienia występowało najczęściej w jego najcieńszym miejscu (isthmus) lub przy krawędzi brzeżnej uzupełnienia. Badacze ci wykazali także, że wkłady koronowe 3-powierzchniowe miały istotnie niższy procent przeżycia niż uzupełnienia mniej rozległe ($P < 0,05$). Obserwacji tych nie potwierdziły jednak inne badania kliniczne.²³ Po 17-letnim okresie obserwacji prawdopodobieństwo przeżycia spadło do 88,7%.²⁴ Dane te można odnieść do wartości 87% prawdopodobieństwa po 20 latach obserwacji dla wkładów koronowych ze stopu złota uważanych za złoty standard dla tego rodzaju uzupełnień.²⁵ *Martin* i *Jedynakiewicz*²⁶ przeprowadzili systematyczny przegląd literatury dotyczący cementowanych adhezyjnie uzupełnień wewnątrzkoronowych typu inlay lub onlay wykonywanych w systemie CEREC. Ocenili 15 angielskojęzycznych badań klinicznych z okresu od 1986 do 1997 roku. Średni procent przeżycia wynosił 97,4% po 4,2 latach, a główną przyczyną niepowodzeń było złamanie uzupełnienia. Innymi zidentyfikowanymi przez autorów problemami opisywanymi w badaniach klinicznych były nadwrażliwość pozabiegowa oraz starcie cementu kompozytowego. *Fasbinder*²⁷ przyczyny nadwrażliwości pozabiegowej upatruje w przedwczesnych kontaktach okluzyjnych lub oddziaływaniu cementów kompozytowych na miążgę zęba. W późniejszych badaniach, wraz z zastosowaniem nowszych cementów kompozytowych oraz kolejnych generacji systemu CEREC zjawisko nadwrażliwości pozabiegowej opisywane było już znacznie rzadziej.²⁸ Częściej obserwowanym w badaniach klinicznych zjawiskiem jest tzw. submarginacja. Pojęcie to w literaturze definiowane jest jako szczelina powstająca między uzupełnieniem a tkanką zęba w wyniku stopnio-

which make up 35-54% volume of the material.³¹ The presence of leucite crystals contributes to better mechanical performance of ceramics as it inhibits the propagation of microcracks in the ceramic glassy matrix.⁹ Empress CAD block's flexural strength evaluated using 3-point bending test is 137.51 ± 23.34 MPa, while its fracture toughness is 2.18 ± 0.3 MPa \times m^{1/2} exceeding the corresponding mechanical properties of machinable feldspathic ceramics.⁷ The side effect of incorporation of crystalline fillers in ceramic glassy matrix may be making the material more opaque, which could adversely affect the aesthetics of the milled restoration. Leucite particles, though, have their index of refraction very close to that of feldspathic ceramics, which helps to maintain optimal translucency with significant increase of mechanical properties.³² *In-vitro* studies have shown that fracture strength for CAD/CAM leucite ceramic crowns was significantly higher than Mark II machined crowns ($P < 0.05$).³² The same authors investigated the influence of surface glazing of the milled ProCAD restorations and indicated that this finishing procedure makes it less susceptible to fractures under cyclic loading.³³ Another important factor determining the longevity of restorations is marginal fit. Marginal gaps may result in microleakage, marginal discolorations, or debonding of the restoration. The marginal fit of ProCAD inlays is clinically acceptable, and the marginal gaps measured were less than 100 μ m being at significantly lower level than marginal gaps of inlays fabricated with IPS Empress material in heat-pressing technique ($P < 0.05$).³⁴ ProCAD and Empress CAD blocks are available in different colours and translucencies compatible with Chromascop shade guide (Ivoclar Vivadent). As for feldspar ceramic CAD/CAM restorations, the adhesive cementation is recommended,¹³ and the clinical procedure requires the following steps: cleaned inner surface of the restoration should be etched with 5% hydrofluoric acid for 60 seconds, next the etchant needs to be thoroughly rinsed. Sandblasting Empress CAD restorations may damage the material and is contraindicated. After drying the restoration, silane-coupling agent is applied with a microbrush, and the restoration is

wego starcia cementu kompozytowego.²⁶ Molin i Karlsson²⁸ w 5-letnim okresie obserwacji wkładów koronowych Mark II zaobserwowali występowanie submarginacji aż w 70% przypadków. Dla porównania, ci sami autorzy obecność szczeliny brzeżnej dla złotych wkładów koronowych odnotowali tylko w 20% po 5 latach od osadzenia. Obserwacje te są zgodne z innymi doniesieniami.^{22,27} Zjawisku submarginacji bardzo rzadko towarzyszą jednak próchnica wtórna lub przebarwienia.^{22,26,27} Szerokość szczeliny brzeżnej zależy od generacji zastosowanego systemu CAD/CAM i jest satysfakcjonująca dla uzupełnień wykonywanych z blozka Mark II w systemie Cerec 3.^{29,30}

Ceramika wzmacniana leucytem

Kolejną grupę materiałów znajdujących zastosowanie w procedurze chairside są blozki ceramiki wzmacnianej leucytem. Ich przedstawicielem są materiały o nazwie ProCAD oraz Empress CAD (Ivoclar Vivadent), będące odpowiednikami materiału IPS Empress przeznaczonego do technologii tłoczenia. ProCAD oraz Empress CAD, podobnie jak opisana wcześniej ceramika skaleniowa, należą do grupy ceramik szklanych. Strukturalnie od blozków ceramiki skaleniowej różnią się zawartością kryształów leucytu o średnicy 1-5 μ m stanowiących 35-45% objętości materiału.³¹ Ich obecność przyczynia się do polepszenia właściwości mechanicznych poprzez inhibicję pęknięć rozchodzących się w matrycy materiału.⁹ Wytrzymałość na zginanie blozków Empress CAD wynosi $137,51 \pm 23,34$ MPa, a wytrzymałość na kruche pękanie $2,18 \pm 0,3$ MPa \times m^{1/2} przewyższając właściwości mechaniczne ceramiki skaleniowej.⁷ Efektem ubocznym inkorporacji krystalicznego wypełniacza w materiale może być utrata przezierności negatywnie wpływająca na estetykę uzupełnień protetycznych. Jednak kryształy leucytu mają współczynnik załamania światła podobny do skaleni, dzięki czemu materiał zachowuje przezierność będąc jednocześnie trwalszy mechanicznie.³² Badania laboratoryjne pokazały, że siła złamania koron CAD/CAM wykonanych z ceramiki wzmacnianej leucytem była istotnie wyższa niż koron CAD/CAM z materiału Mark II

left for 60 seconds until the solvent evaporates. Subsequently, the adhesive and composite luting cement is applied on the inner surface of the restoration, the tooth surface is prepared, the restoration inserted and light-cured. Cemented restoration may require some occlusal adjustments, which can be done with fine-grit diamond burs. The material's manufacturer recommends the OptriFine system (Ivoclar Vivadent) for final finishing and polishing of the restoration. The three-step procedure includes: finishing and smoothing the surfaces with Finisher F, then polishing the restoration with Polisher P and finally high-gloss polishing with a brush and HP diamond polishing paste.

The clinical data concerning chairside CAD/CAM leucite ceramic restorations is not available. *Guess et al.*³⁵ conducted a research of forty ProCAD partial crowns. They reported 97% Kaplan-Meier survival rate in a three-year period. Only one restoration had to be replaced due to cohesive fracture in the marginal region. Clinical studies which can be found in literature concern mainly the IPS Empress ceramic material, dedicated to heat-pressing technique. *Kraemer and Frankenberger* reported 92% survival rate for IPS Empress inlays and onlays after eight years of clinical service.³⁶

Lithium disilicate-reinforced ceramics

The representative of this group of materials is IPS e.max blocks, manufactured by Ivoclar Vivadent. These blocks are dedicated to CAD/CAM technology equivalents of heat-pressed IPS e.max Press. E.max CAD may be used for fabricating inlays, onlays, veneers, anterior and posterior full-anatomic crowns and implant crowns.³⁷ E.max CAD blocks may be classified into two groups – partially and fully crystallized form differing in microstructure, mechanical properties and colour. The partially crystallized form consists of glassy matrix with incorporated lithium monosilicate crystals in the amount of 40% vol. This determines mechanical properties of the material, which are not optimal in this phase – flexural strength is 130 ± 30 MPa, fracture strength $0.9-1.1$ MPa \times m^{1/2} and Vickers hardness 5400 ± 100 MPa; the block has bluish shade. The restorations

($P < 0,05$).³³ Ci sami autorzy zbadali także wpływ glazurowania na wytrzymałość uzupełnień CAD/CAM z ProCAD wykazując, że ten sposób wykończenia ich powierzchni istotnie zwiększa wytrzymałość na złamanie oraz odporność na cykliczne obciążenia.³³ Kluczowym czynnikiem mającym istotny wpływ na trwałość uzupełnień jest szczelność brzeżna. Szeroka szczelina brzeżna może powodować odcementowanie uzupełnienia, mikroprzeciek, przebarwienia brzeżne oraz w końcu negatywnie wpływać na trwałość uzupełnienia. Szczelność brzeżna wkładów koronowych z materiału ProCAD jest akceptowalna i wynosi mniej niż 100 μ m będąc istotnie mniejsza niż szczelina występująca przy wkładach ceramicznych tłoczonych IPS Empress ($p < 0,05$).³⁴ Bloczki ProCAD i Empress CAD produkowane są w odcieniach zgodnych z kolornikiem Chromascop (Ivoclar Vivadent). Podobnie jak dla Mark II, adhezyjne cementowanie jest korzystne także dla właściwości mechanicznych uzupełnień z ceramiki wzmacnianej leucytem,¹³ a procedura kliniczna wymaga następujących kroków: oczyszczoną wewnętrzną powierzchnię uzupełnienia wytrawia się przez 60 sekund za pomocą 5% kwasu fluorowodorowego, który należy następnie dokładnie spłukać, a uzupełnienie osuszyć strumieniem powietrza. Piaskowanie uzupełnienia może uszkadzać jego powierzchnię i jest przeciwwskazane. Po osuszeniu aplikuje się za pomocą pędzelka silan, pozostawiając do odparowania na 60 sekund. Kolejnym krokiem jest aplikacja systemu wiążącego i cementu kompozytowego oraz przygotowanie zęba filarowego, osadzenie oraz polimeryzacja cementu kompozytowego. Zacementowane uzupełnienie może wymagać korekt okluzji, które należy przeprowadzić za pomocą wiertel z drobnoziarnistym nasypem diamentowym. Końcowe polerowanie oraz wykańczanie powierzchni uzupełnienia można przeprowadzić z użyciem dedykowanego dla ceramik firmy Ivoclar Vivadent systemu OptriFine (Ivoclar Vivadent), a procedura kliniczna składa się z trzech etapów: polerowanie za pomocą instrumentu Finisher F (kolor jasnoniebieski), następnie Polisher P (ciemnoniebieski) oraz końcowe polerowanie na wysoki połysk z zastosowaniem szczoteczki z pastą polerską HP.

are milled from partially crystallized blocks in order to avoid excessive wear of diamond burs during milling and damaging the restoration.³⁷⁻³⁹ Machining is followed by thorough clinical control of the restoration. Static and dynamic occlusion, marginal and internal fit, approximal contacts should be monitored. Any adjustments should be conducted with $\leq 60\mu\text{m}$ grain size diamonds and after that polished using OptraFine system, as previously described. Then the restoration should be placed in an ultrasonic cleaner to remove dust and debris. After this procedure and necessary corrections the restoration needs to undergo firing in vacuum oven in the temperature of 850°C for 30 minutes. The firing causes transformation of material's microstructure – densely packed lithium disilicate particles crystallize and from that point they make up about 70% vol. of the restoration. The material gains its final mechanical properties after that process. Flexural strength of fully crystallized form is 360 ± 60 MPa and exceeds feldspar- and leucite-reinforced ceramics.³⁷⁻³⁹ Additionally, individualisation of the restoration is possible by applying stains and glaze before firing (IPS e.max Crystall./ Stains and Glaze Paste); glazing is conducted simultaneously to the crystallization process of the restoration. The presence of glassy matrix in the material's structure ensures fine translucency and good aesthetic properties of machined lithium disilicate ceramic restorations, which is of great importance for veneers and anterior crowns. In addition to that, it enables adhesive cementation procedures, which results in 223% increase in fracture strength in comparison with restorations cemented conventionally with zinc-phosphate cement.⁴⁰ Preparation of the restoration for adhesive cementation includes etching the inner surface with 5% hydrofluoric acid for twenty seconds. According to the manufacturer's data, IPS e.max CAD restorations cannot undergo sandblasting procedure. After twenty seconds, the etching gel should be rinsed with precision and the restoration dried with air. The surface should be covered with silane coupling agent, for example Monobond S (Ivoclar Vivadent) using a microbrush and then left for sixty seconds. Composite resin luting

Guess i wsp.³⁵ wykonali 40 koron częściowych z materiału ProCAD. W swoim badaniu donoszą o 97% przeżywalności tych uzupełnień w 3-letnim okresie obserwacji; tylko jedna korona musiała zostać w tym okresie usunięta i wymieniona z powodu kohezyjnego złamania w obszarze brzeżnym. Badania kliniczne uzupełnień protetycznych frezowanych z bloczka ProCAD lub Empress CAD w trybie jednowizytowym nie są dostępne. W literaturze dostępne są natomiast badania kliniczne uzupełnień z materiału IPS Empress przeznaczonego do technologii tłoczenia. Kraemer i Frankenberger odnotowali 92% prawdopodobieństwo przeżycia wkładów koronowych i nakładów IPS Empress po 8 latach obserwacji.³⁶

Ceramika wzmocniana dwukrzemianem litu

Przedstawicielem powyższej grupy materiałów są bloczki IPS e.max CAD produkowane przez firmę Ivoclar Vivadent. Są one przeznaczonym do technologii CAD/CAM odpowiednikiem materiału IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent). E.max CAD może służyć do wytwarzania wkładów koronowych, nakładów, licówek, koron w odcinku przednim oraz bocznym oraz koron na implantach.³⁷ Bloczki e.max CAD występują w dwóch postaciach – częściowo oraz całkowicie skryształizowanej. Różnią się one mikrostrukturą, właściwościami mechanicznymi oraz kolorem. Postać częściowo skryształizowana składa się ze szklanej matrycy, w której znajdują się kryształy monokrzemianu litu stanowiące około 40% objętości materiału. W tej fazie właściwości mechaniczne materiału nie są jeszcze optymalne – wytrzymałość na zginanie wynosi 130 ± 30 MPa, odporność na kruche pękanie $0,9\text{-}1,1$ MPa m^{1/2} twardość 5400 ± 100 MPa wg Vickersa, a bloczek ma niebieskawy odcień. Dzięki temu podczas frezowania uzupełnienia protetycznego nie dochodzi do nadmierne-go zużycia wiertel frezarki ani uszkodzeń materiału.³⁷⁻³⁹ Po wyfrezowaniu producent materiału rekomenduje przeprowadzenie klinicznej kontroli uzupełnienia. Sprawdzeniu podlegają okluzja statyczna i dynamiczna, przyleganie brzeżne i wewnętrzne oraz kontakty styczne. Wszelkie korekty należy przeprowadzać na tym etapie za pomocą wiertel z nasypem diamentowym ($\leq 60\mu\text{m}$)

cement may be applied to the prepared surface. After appropriate preparation of the tooth surface the restoration may be seated and the luting cement light-cured under oxygen protective gel. Studies show, that there was no significant difference in fracture strength between adhesively cemented lithium-disilicate restorations and high-strength yttriumoxide-tetragonal-zirconia-polycrystals (YTZP) and infiltration ceramics cores ($P > 0.05$).⁴⁰ Moreover, E.max CAD crowns turned out to be less susceptible to cyclic loading and fatigue than YTZP ZirCAD machined restorations, which were mainly damaged through chipping of veneering porcelain.⁴¹ Full-anatomic crowns with zirconia or alumina cores are layered by mechanically weaker veneering porcelain in which chipping is the primary cause of failure for this type of restorations.⁴¹ Thus, the monolithic structure of machined lithium-disilicate restorations can be considered as a major advantage. Due to that fact, CAD/CAM lithium disilicate ceramic material may be applied as an alternative for high-strength polycrystalline ceramics in the posterior region and its relatively inferior mechanical properties may be balanced by adhesive cementation.^{13,40} Another important advantage of lithium disilicate ceramics in comparison with polycrystalline ceramics is the possibility of milling the restoration at the chairside, at a single appointment only.

The evidence for clinical performance of chairside CAD/CAM lithium disilicate restorations is limited, and the observation period in available studies is short. *Fasbinder et al.*³⁹ investigated 62 e.max CAD posterior crowns fabricated with Cerec 3 and cemented adhesively in 43 patients. The observation period was two-years and the authors did not notice any catastrophic fracture of crowns or any incidence of recurrent caries; moreover, they did not report any cases of chipping on the restorations' surface. *Cortellini et al.*⁴² fabricated 235 e.max CAD and e.max Press crowns and reported only one crown's failure due to fracture in three years of observation. There are still no long-term clinical studies on the performance of lithium-disilicate CAD/CAM restorations. The data concerning the comparison of the clinical performance of these restorations with porcelain-

oraz wypolerować – zalecanym przez producenta systemem polerskim jest OpraFine; a następnie uzupełnienie umieścić w myjce ultradźwiękowej w celu jego oczyszczenia. Po kontroli oraz niezbędnych korektach uzupełnienie protetyczne musi zostać poddane wypalaniu w piecu próżniowym w temperaturze 850°C przez 30 minut. Wypalanie powoduje zmianę struktury materiału – powstają gęsto upakowane kryształy dwukrzemianu litu stanowiące 70% obj. materiału. W wyniku tego procesu materiał uzyskuje swoje ostateczne właściwości mechaniczne. Wytrzymałość na zginanie w pełni skryształizowanego materiału wynosi 360+-60 MPa i znacznie przewyższa wytrzymałość ceramiki skaleniowej czy wzmacniającej leucytem.³⁷⁻³⁹ Przed wypalaniem uzupełnienia można nadać indywidualną charakteryzację poprzez zastosowanie farbek oraz glazury (IPS e.max CAD Crystall./Stains oraz Glaze Paste); wypalanie glazury odbywa się wówczas łącznie z procesem krystalizacji. Obecność szklanej matrycy w materiale zapewnia przezierność i dobrą estetykę uzupełnień z niego wykonanych, co ma szczególne znaczenie dla licówek i koron w odcinku przednim, a także daje możliwość adhezyjnego cementowania, co powoduje wzrost siły złamania o 223% w stosunku do uzupełnień cementowanych konwencjonalnie.⁴⁰ Przygotowanie uzupełnienia do cementowania obejmuje w pierwszym etapie kondycjonowanie wewnętrznej powierzchni. Osiąga się to poprzez wytrawianie 5% kwasem fluorowodorowym przez 20 sekund. Według danych producenta uzupełnienia z materiału IPS e.max CAD nie mogą zostać poddane piaskowaniu tlenkiem glinu. Po 20 sekundach żel należy spłukać, uzupełnienie dokładnie osuszyć strumieniem powietrza, za pomocą pędzelka zaaplikować silan, na przykład Monobond S (Ivoclar Vivadent) i pozostawić uzupełnienie na 60 sekund, po czym na tak przygotowaną powierzchnię aplikuje się cement kompozytowy. Uzupełnienie osadza się na odpowiednio przygotowanym zębie filarowym i pod osłoną żelu glicerynowego naświetla każdą powierzchnię. Badania pokazują, że nie ma istotnych statystycznie różnic w wytrzymałości na złamanie dla cementowanych adhezyjnie uzupełnień wykonanych z ceramiki dwukrzemianu litu oraz

fused to metal restorations, which are considered as golden standard for full-anatomic posterior crowns, is not available, either.⁴³

Resin nanoceramics

In spite of the advantages of machinable ceramic materials, their use is still being associated with certain risks. There have been reported cases of clinical failures caused by restorations' critical fractures. The reasons for failures may be attributed to insufficient mechanical properties of glass-based ceramics, their minimal fracture resistance and susceptibility to fatigue under cyclic loading. Due to these limitations, new materials have been investigated, which could be mechanically more resistant than glass-based ceramics preserving their aesthetic qualities. The representative of the new group of CAD/CAM materials is Lava Ultimate, introduced by 3M ESPE. Lava Ultimate is classified into a new group of ceramic CAD/CAM blocks, named RNC (resin nanoceramics) by the producer. The material's name derives from the application of nanotechnology in the fabrication process and combination of ceramics and resin in the material's microstructure. The block contains 20% *vol* of resin-building material's matrix. The remaining 80% *vol* of the block are silica and zirconia nanoparticles with an average particle size of 20 nm and 4-11 nm. The filler particles may be single or aggregated into clusters.^{3,44}

According to the manufacturer's data, the flexural strength of resin nanoceramic block is 200 MPa and the fracture resistance coefficient is 2 MPa x m^{1/2}, exceeding feldspathic ceramics' mechanical properties.⁴⁴ According to *Fasbinder*,³ small particle size of Lava Ultimate makes it possible for the dentist to polish the nanoceramic restoration to high gloss, eliminating the necessity of oven-glazing and ensuring high aesthetic qualities of the restorations. *Moermann* and *Stawarczyk*²¹ investigated surface wear of RNC and its influence on antagonistic enamel and reported no vital difference between RNC and Mark II feldspathic ceramic or Empress CAD leucite-reinforced ceramics. *Carvalho* and *Magne*⁴⁵ compared fatigue resistance of RNC blocks with feldspathic ceramics. They stated that

polikrystalicznej ceramiki tlenku cyrkonu stabilizowanego itrem (YTZP) ($P > 0,05$).⁴⁰ Ponadto, korony frezowane z E.max CAD okazały się być mniej podatne na cykliczne obciążenia niż uzupełnienia wykonane z materiału YTZP, ZirCAD, których główną przyczyną uszkodzeń było odłamanie warstwy ceramiki licującej.⁴¹ W tym kontekście jednolita struktura bloczków ceramiki wzmocnionej dwukrzemianem litu może być uznana za główną jego zaletę. Z powyższych powodów materiał ten może być uznany za alternatywę dla wysoko wytrzymałych ceramik krystalicznych, a jego stosunkowo gorsze właściwości mechaniczne mogą być zrównoważone poprzez adhezyjne cementowanie.^{13,40} Kolejną zaletą ceramiki dwukrzemianu litu jest możliwość frezowania uzupełnienia z bloczka materiału podczas jednej wizyty, przy pacjencie. Dane kliniczne dotyczące uzupełnień wykonywanych jednowizytowo z ceramiki wzmocnionej dwukrzemianem litu są obecnie ograniczone, a okres obserwacji w dostępnych badaniach jest krótki. *Fasbinder* i wsp.³⁹ oceniali 62 korony w odcinku bocznym wykonane z materiału e.max CAD w 2-letnim okresie obserwacji. Korony wykonane były z użyciem systemu CEREC 3 i osadzone adhezyjnie u 43 pacjentów za pomocą dwóch różnych żywic kompozytowych. W czasie obserwacji nie odnotowano żadnego przypadku złamania korony, ani wystąpienia próchnicy wtórnej; ponadto stwierdzono doskonałą szczelność brzeżną w każdej z grup. Nie odnotowano także przypadków odłamania powierzchniowej warstwy ceramiki. *Cortellini* i wsp.⁴² wykonali 235 koron z e.max CAD oraz e.max Press odnotowując tylko jeden przypadek złamania uzupełnienia po 3 latach obserwacji. W literaturze brak jest danych na temat długoterminowych obserwacji uzupełnień z ceramiki dwukrzemianu litu w technologii CAD/CAM. Brak także badań bezpośrednio porównujących ich kliniczne zastosowanie do stopów metalu licowanych ceramiką będących złotym standardem w wykonawstwie pełnoanatomicznych koron w odcinku bocznym.⁴³

Nanoceramika kompozytowa

Pomimo omówionych wcześniej zalet materiałów ceramicznych znajdujących zastosowanie

RNC was significantly more resistant to cyclic loading than feldspathic ceramics.

Lava Ultimate block is available in eight colours and two translucencies, which are in compliance with VITAPAN Classical Shade Guide (Vita Zahnfabrik). According to the manufacturer, the block permits the fabrication of inlays, onlays, full-anatomic crowns in the anterior and lateral region, veneers and implant-supported crowns. The manufacturer recommends adhesive cementation of Lava Ultimate restorations. Before cementation, extraoral polishing of the restoration is required, achieved with fine rubber tools and bristle brush, with low-speed handpiece. The cementation requires conditioning of the inner surface of the restoration, which may be achieved by sandblasting with aluminum oxide (Al_2O_3) with an average particle size $\leq 50 \mu m$, then cleansing the restoration surface with alcohol and air drying. Hydrofluoric acid etching of resin nanoceramic material is contraindicated. The next step is scrubbing the adhesive (for example Scotchbond Universal Adhesive, 3M Espe) with a microbrush for twenty seconds on the sandblasted surface. Having prepared the tooth surface, the next step is seating the restoration with composite-resin luting cement, and light-curing for twenty seconds per surface. Finishing and polishing of the restoration takes place intraorally, diamonds with grit size up to $30 \mu m$ are used for occlusal adjustments, while removing the excess of luting composite and polishing is conducted with Sof-Lex discs dedicated for final polishing and additionally with diamond polishing paste (for example Direct Dia Paste, Shofu). The main advantages of the RNC listed by *Fasbinder* include ease of finishing and polishing the restorations' surface without oven-glazing procedure and mechanical properties and aesthetics similar to glass-ceramic materials.³ The literature concerning the resin nanoceramic material is scarce, solely including case reports and laboratory studies. There are still no reliable long-term clinical observations concerning the clinical performance of the material.

Vita Enamic

The next new material on the market is Vita

w technologii CAD/CAM ich użycie wciąż obarczone jest pewnym ryzykiem. Opisywane przypadki klinicznych niepowodzeń związane były głównie ze złamaniami uzupełnień. Przyczyn tych niepowodzeń upatruje się w niedostatecznych właściwościach mechanicznych ceramiki szklanych, ich niewielkiej odporności na kruche pękanie oraz podatności na zmęczenie pod wpływem cyklicznych obciążeń. Z powodu tych ograniczeń poszukiwano nowych materiałów, które byłyby wytrzymalsze mechanicznie niż materiały ceramiczne, jednocześnie będąc równie zadowalające estetycznie. Jednym z takich materiałów jest zaproponowany przez firmę 3M ESPE bloczek Lava Ultimate. Materiał ten należy do nowej grupy bloczków, przez producenta nazwanej nanoceramiką kompozytową (resin nanoceramics, RNC). Źródłem nazwy materiału jest zastosowanie w jego produkcji nanotechnologii oraz połączenie w strukturze materiału ceramiki oraz żywicy kompozytowej. Żywica kompozytowa stanowiąca około 20% objętości materiału jest matrycą, w której znajdują się nanocząsteczki krzemionki oraz tlenku cyrkonu o wielkości cząsteczek odpowiednio 20 nm oraz 4-11 nm. Występują one samodzielnie lub w postaci aglomeratów i stanowią 80% objętości materiału.^{3,44}

Zgodnie z danymi producenta, odporność na zginanie nanoceramiki kompozytowej wynosi 200 MPa, a współczynnik K1C 2 MPaxm^{1/2}, przewyższając ceramikę skaleniową pod względem właściwości mechanicznych.⁴⁴ Jak podaje *Fasbinder*,³ dzięki małym rozmiarom cząsteczek Lava Ultimate może być polerowany do wysokiego połysku, bez konieczności stosowania procedury glazurowania zapewniając uzupełnieniom wysoką estetykę. *Moermann* i *Stawarczyk*²¹ badali ścieralność nanoceramiki kompozytowej oraz wpływ na szkliwo zębów przeciwstawnych nie odnotowując istotnych różnic w stosunku do ceramiki skaleniowej Mark II oraz ceramiki wzmacniającej leucytem Empress CAD. *Carvalho* i *Magne*⁴⁵ badali odporność nanoceramiki kompozytowej na zmęczenie pod wpływem obciążeń stwierdzając, że jest ona istotnie wyższa niż ceramiki skaleniowej. Bloczek Lava Ultimate dostępny jest w 8 kolorach oraz 2 przeziernościach zgodnych z ko-

Enamic introduced by Vita Zahnfabrik. Enamic is also a CAD/CAM block in which the attempt to combine ceramics and composite resin has been made. Enamic is a hybrid consisting of porous, ceramic and resin network, which create the so-called double network hybrid. The porous ceramic network (75% vol) applied in Enamic is the same that was used in other Vita ceramic material – InCeram. The main difference between them is that Enamic is being infiltrated during its production process with polymeric resin consisting of TEGDMA and UDMA monomers (25% vol). What structurally differs Enamic blocks from resin composite material are two continuous interpenetrating ceramic and polymer networks. The aim of joining these two components was to achieve a material, in which the advantages of ceramics (good aesthetics, mechanical strength, colour stability) and resin composite (low antagonistic tooth wear, Young modulus similar to that of enamel and dentine) could be combined. The flexural strength of Enamic is 150-160 MPa, the fracture resistance is 1.5 MPa x m^{1/2}. The material may be characterized as less rigid than ceramics; the hardness of the material is lower than that of feldspathic-, leucite- or lithium disilicate-reinforced ceramics. Restorations milled from Enamic blocks need to undergo polishing procedure in order to achieve smooth and glossy surface. For this purpose the manufacturer recommends Vita Enamic Polishing Set (Vita Zahnfabrik) or Sof-Lex discs with medium (M) or super fine (SF) grit (3M Espe). Vita Enamic restorations may be individualized by applying stains and glaze offered by the producer. After this procedure, the restoration may be cemented. The inner surface of the restoration must be degreased with alcohol and etched with hydrofluoric acid for sixty seconds. The etchant should then be rinsed and the restoration placed in an ultrasonic cleaner. Having dried the surface, it is necessary to apply silane coupling agent and wait until the solvent evaporates, next the adhesive and luting composite is applied to the surface. After preparation of the tooth surface, the restoration is inserted and light-curing of the cement is necessary. The excess of the cement may be removed with Sof-Lex discs,

lornikiem VITAPAN Classical Shade Guide (Vita Zahnfabrik). Według producenta wskazaniami do zastosowania bloczka Lava Ultimate są licówki, korony w odcinku przednim i bocznym oraz korony na implantach, wkłady koronowe oraz nakłady. Zalecaną przez producenta techniką osadzania uzupełnień jest cementowanie adhezyjne. Jednak przed zacementowaniem producent zaleca zewnętrzne polerowanie uzupełnienia, które można przeprowadzić za pomocą gumek oraz szczoteczek polerskich, pracując na niskich obrotach. Materiał Lava Ultimate nie może być wytrawiany kwasami fluorowodorowym ani ortofosforowym, w celu kondycjonowania jego powierzchni zaleca się więc piaskowanie tlenkiem glinu o rozmiarach cząsteczek ≤50 μm, a następnie usunięcie piasku za pomocą alkoholu i osuszenie strumieniem powietrza. Na suchą i matową powierzchnię należy zaaplikować system wiążący (na przykład Scotchbond Universal Adhesive, 3M Espe) wcierając go przez 20 sekund. Po odpowiednim przygotowaniu powierzchni zęba filarowego kolejnym etapem jest osadzenie uzupełnienia za pomocą cementu kompozytowego oraz naświetlenie powierzchni uzupełnienia po 20 sekund każda. Po usunięciu nadmiarów cementu przystępuje się do wewnątrzustnych korekt oraz polerowania. Korekt okluzji dokonuje się za pomocą wiertel z diamentowym nasypem o grubości ziaren 30 μm, polerowanie przeprowadza się krążkami Sof-lex do polerowania oraz wykańczania powierzchni oraz pastą polerską, na przykład polecaną przez producenta Direct Dia Paste (Shofu). *Fasbinder* twierdzi, że głównymi zaletami nanoceramiki kompozytowej są łatwość jej wykańczania i polerowania bez konieczności posiadania pieca do ceramizacji oraz wytrzymałość i estetyka zbliżona do ceramik szklanych.³ W literaturze obecne są jedynie opisy przypadków oraz badania laboratoryjne nanoceramiki kompozytowej, brak jednak kluczowych danych na temat długookresowych obserwacji materiału w warunkach klinicznych.

Vita Enamic

Kolejnym materiałem, w którym następuje próba połączenia ceramiki oraz kompozytu jest wprowadzony na rynek przez firmę Vita materiał VITA

and all adjustments take place intraorally with fine grit diamonds and two-step polishing, preferably performed with pink and grey tools from Vita Enamic Polishing Set. Due to limited availability of laboratory studies or even short-term clinical data the material should be considered as experimental and applied with caution.^{21,46-49}

Conclusions

The chairside CAD/CAM restorations may be described as a clinically accepted alternative in prosthetic rehabilitation. The advantages of chairside CAD/CAM procedure are elimination of impression-taking, no need for temporization and, due to that, significant shortening of dentist's working time. The main disadvantage that may be identified is high cost of the required technology. The key factor influencing clinical success with these restorations is proper choice of material. The choice is determined by the material itself, its properties, and by the given clinical situation. Physical properties, aesthetics, cementation technique and the type of restoration to be prepared need to be taken into account. Strict compliance with indications and application of materials whose clinical performance has been proved with long-term observations allow minimizing the risk and achieving clinical success of chairside CAD/CAM restorations.

Enamic. Enamic jest hybrydowym materiałem, składającym się z porowatej, ceramicznej sieci oraz sieci polimeru tworząc tzw. podwójną sieć hybrydową (*double network hybrid*). Porowata sieć ceramiczna (75% obj.) zastosowana w materiale Enamic jest taka sama jak ta, którą wiele lat temu zastosowano w innym materiale firmy VITA, InCeram. Różnica między Enamic a InCeram polega na tym, że zamiast szkła, tak jak w przypadku InCeram, sieć ceramiczna jest infiltrowana przez polimer złożony z TEGDMA i UDMA (25% obj.). W odróżnieniu od klasycznych kompozytów, materiał Enamic składa się dwóch ciągłych, przenikających się sieci – ceramicznej oraz polimerowej. Celem połączenia obu składowych było uzyskanie materiału, który łączyłby w sobie zalety ceramiki (wysoka estetyka, wytrzymałość mechaniczna, stabilność koloru) oraz materiałów złożonych (mała ścieralność zębów przeciwstawnych, moduł Younga zbliżony do szkliska i zębiny). Wytrzymałość na zginanie VITA Enamic wynosi 150-160 MPa, natomiast wytrzymałość na kruche pękanie 1,5 MPa x ml^{1/2}. Materiał ten charakteryzuje mniejsza sztywność i większa elastyczność niż materiałów ceramicznych. Także twardość materiału Enamic jest mniejsza niż ceramiki skaleniowej lub wzmocnionej leucytem oraz dwukrzemianem litu. Uzupełnienia wycięte z materiału Enamic muszą przejść proces polerowania w celu uzyskania gładkiej i lśniącej powierzchni. Producent zaleca stosowanie do tego celu zestawu narzędzi do polerowania Vita Enamic Polishing Set (Vita Zahnfabrik) lub krążków Soflex o średniej (M) lub bardzo małej (SF) grubości ziaren (3M Espe). Przed osadzeniem można także nadać uzupełnieniu indywidualną charakterystykę za pomocą oferowanego przez producenta zestawu barwników (Vita Enamic Stains) oraz glazury (Vita Enamic Glaze). Tak przygotowane oraz zindywidualizowane uzupełnienie może zostać zacementowane. Wewnętrzną powierzchnię uzupełnienia należy odłuszczyć za pomocą alkoholu, następnie wytrawić kwasem fluorowodorowym przez 60 sekund. Żel należy dokładnie spłukać, a uzupełnienie umieścić w myjce ultradźwiękowej. Po osuszeniu aplikuje się silan, pozwalając by swobodnie odparował. Na tak przygotowane

uzupełnienie aplikuje się żywicę łączącą nie polimeryzując jej oraz cement kompozytowy. Po przygotowaniu powierzchni zęba osadza się uzupełnienie, a każda jego powierzchnia musi zostać nadszkiełniona. Nadmiary cementu można usunąć krążkami Sof-lex, a wszelkie korekty przeprowadzane wewnątrzustnie wykonuje się za pomocą wiertel z diamentowym nasypem 40 µm oraz dwuetapowego polerowania za pomocą różowych i szarych narzędzi z Enamic Polishing Set. Ze względu na niewielką dostępność badań laboratoryjnych oraz brak nawet krótkoterminowych doniesień klinicznych materiał ten powinien być uważany za eksperymentalny i stosowany z ostrożnością.^{21,46-49}

Podsumowanie

Uzupełnienia protetyczne wykonywane podczas jednej wizyty w technologii CAD/CAM stanowią klinicznie sprawdzoną alternatywę rehabilitacji protetycznej. Zaletami tego typu postępowania są skrócenie czasu pracy lekarza dzięki eliminacji procedur związanych z pobieraniem wycisków oraz przygotowaniem uzupełnień tymczasowych, a także brak kosztów związanych z laboratoryjnym wykonaniem uzupełnień. Najistotniejszą wadą znacznie ograniczającą zastosowanie technologii CAD/CAM jest duży koszt niezbędnych urządzeń. Kluczowym warunkiem powodzenia leczenia jest w każdym przypadku właściwy dobór materiału. Wybór ten determinowany jest przez czynniki związane z samym materiałem, jego właściwościami oraz przez czynniki zależne od danej sytuacji klinicznej. Poddane analizie muszą zostać właściwości fizyczne materiału, w tym jego wytrzymałość oraz twardość, cechy estetyczne, dostępne kolory i przezierności, technika cementowania oraz rodzaj uzupełnienia, które chcemy wykonać. Ścisłe przestrzeganie wskazań oraz wykorzystanie materiałów, których użyteczność została potwierdzona przez długoletnie obserwacje pozwalają na zminimalizowanie ryzyka powikłań oraz na osiągnięcie powodzenia klinicznego.

References

- Miyzaki T, Hotta Y: CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J* 2011; 56 (1 Suppl): 97-106.
- Mörmann WH: The evolution of CEREC system. *J Am Dent Assoc* 2006; 137 (Suppl): 7-13.
- Fasbinder DJ: Chairside CAD/CAM: an overview of restorative material options. *Compend Contin Educ Dent* 2012; 50: 52-58.
- Giordano R: Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. *J Am Dent Assoc* 2006; 137 (9 Suppl): 14-21.
- Shenoy A, Shenoy N: Dental ceramics: An update. *J Conserv Dent* 2010; 13: 195-203.
- Vitablocks Mark II for CEREC. *Materials Science and Clinical Studies*. Brea, California: Vident; 2003.
- Charlton D, Roberts H, Tiba A: Measurement of select physical and mechanical properties of 3 machinable ceramic materials. *Quintessence Int* 2008; 39: 573-579.
- Mierzwińska-Nastalska M, Szczyrek P: Uzupełnienia ceramiczne. Postępowanie kliniczne i wykonawstwo laboratoryjne. *Otwock: Med Tour Press International; 2011.*
- Dejak B, Kacprzak M, Suliborski B, Śmielak B: Struktura i niektóre właściwości ceramiki dentystrycznych stosowanych w uzupełnieniach pełnoceramicznych w świetle literatury. *Protet Stomatol* 2006; 56: 471-477.
- Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204: 505-511.
- Tinschert J, Zvez D, Marx R, Anusavice KJ: Structural reliability of alumina-, feldspar-, leucite-, mica- and zirconia-based ceramics. *J Dent* 2000; 28: 529-535.
- Magne P, Belser U: Przymiarka (try-in) i cementowanie In: Suliborski B, editor: *Adhezyjne uzupełnienia porcelanowe w odcinku przednim: podejście biomimetyczne*. Warszawa: Wydawnictwo Kwintesencja; 2010. p. 335-371.
- Bindl A, Lüthy H, Mörmann WH: Strength and fracture pattern of monolithic CAD/CAM-generated posterior crowns. *Dent Mater* 2006; 22: 29-36.
- Attia A, Abdelaziz KM, Freitag S, Kern M: Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns. *J Prosthet Dent* 2006; 95: 117-123.
- Attia A, Kern M: Fracture strength of all-ceramic crowns luted using two bonding methods. *J Prosthet Dent* 2004; 91: 247-252.
- Mehl A, Kunzelmann KH, Folwaczny M, Hickel R: Stabilization effects of CAD/CAM ceramic restorations in extended MOD cavities. *J Adhes Dent* 2006; 6: 239-245.
- Bremer BD, Guertsen WJ: Molar fracture resistance after adhesive restoration with ceramic inlays or resin-based composite. *Am J Dent* 2001; 14: 216-220.
- Flury S, Lussi A, Zimmerli B: Performance of different polishing techniques for direct CAD/CAM ceramic restorations. *Oper Dent* 2010; 35: 470-481.
- Herrguth M, Wichmann M, Reich S: The aesthetics of all-ceramic veneered and monolithic CAD/CAM crowns. *J Oral Rehabil* 2005; 32: 747-752.
- Reich S, Hornberger H: The effect of multi-colored machinable ceramics on the esthetics of all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 44-49.
- Möemann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A: Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013; 20: 113-125.
- Otto T, De Nisco S: Computer-aided direct ceramic restorations: A 10-year prospective clinical study of Cerec CAD/CAM inlays and onlays. *Int J Prosthodont* 2002; 15: 122-128.
- Roggendorf MJ, Kunzi B, Ebert J, Roggendorf HC, Frankenberger R, Reich S: Seven-year clinical performance of CEREC-2 all-ceramic CAD/CAM restorations placed within deeply destroyed teeth. *Clin Oral Invest* 2012; 16: 1413-1424.
- Otto T, Schneider D: Long-term clinical results of chairside Cerec CAD/CAM inlays and onlays: a case series. *Int J Prosthodont* 2008; 21: 53-59.
- Studer SP, Wettstein F, Lehner C, Zullo TG, Schärer P: Long-term survival estimates of cast gold inlays and onlays with their analysis of failure. *J Oral Rehabil* 2000; 27: 461-472.
- Martin N, Jedynakiewicz NM: Clinical performance of CEREC ceramic inlays: a systematic review. *Dent Mater* 1999; 15: 54-61.
- Fasbinder DJ: Clinical performance of chairside

- CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc* 2006; 137 (9 suppl): 22-31.
28. *Molin MK, Karlsson SL*: A randomized 5-year clinical evaluation of 3 ceramic inlays systems. *Int J Prosthodont* 2000; 13: 194-200.
 29. *Bindl A, Mörmann WH*: Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM generated partial crowns. *Eur J Oral Sci* 2003; 111: 163-169.
 30. *Nakamura T, Nobuyoshi D, Kojima T, Wakabayashi K*: Marginal and internal fit of Cerec 3 CAD/CAM all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 244-248
 31. IPS Empress CAD Scientific Documentation. Lichtenstein: Schaan; 2011.
 32. *Kelly JR, Benetti P*: Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J* 2011; 56 (1 Suppl): 84-96.
 33. *Chen HY, Hickel R, Setcos JC, Kunzelmann KH*: Effects of surface finish and fatigue testing on the fracture strength of CAD-CAM and pressed-ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1999; 82: 468-475.
 34. *Keshvad A, Hooshmand T, Asefzadeh F, Khalilnejad F, Alihemmati M, Van Noort R*: Marginal gap, internal fit and fracture load of leucite-reinforced ceramic inlays fabricated by CEREC inLab and hot-pressed techniques. *J Prosthodont* 2011; 20: 535-540.
 35. *Guess PC, Strub J, Steinhart N, Wolkewitz M, Stappert CH*: All-ceramic partial coverage restorations-midterm results of a 5-year prospective clinical splitmouth study. *J Dent* 2009; 37: 627-637.
 36. *Krämer N, Frankenberger R*: Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater* 2005; 21: 262-271.
 37. IPS Empress CAD Scientific Documentation. Lichtenstein: Schaan; 2005.
 38. *Kang S, Chang J, Son HH*: Flexural strength and microstructure of two lithium disilicate glass ceramics for CAD/CAD restoration in the dental clinic. *Restor Dent Endod* 2013; 38: 134-140.
 39. *Fasbinder DJ, Dennison JB, Heys D, Neiva G*: A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns. *J Am Dent Assoc* 2010; 141 (6 suppl): 10-14.
 40. *Bindl A, Lüthy H, Mörmann WH*: Thin-wall ceramic CAD/CAM crown copings: strength and fracture pattern. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 520-528.
 41. *Guess PC, Zavanelli RA, Silva NR, Bonfante EA, Coelho PG, Thompson VP*: Monolithic CAD/CAM lithium disilicate versus veneered Y-TZP crowns: comparison of failure modes and reliability after fatigue. *Int J Prosthodont* 2010; 23: 434-442.
 42. *Cortellini D, Canale A*: Bonding lithium disilicate ceramic to feather-edge tooth preparations: a minimally invasive treatment concept. *J Adhes Dent* 2012; 14: 7-10.
 43. *Pieger S, Salman A, Bidra AS*: Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 22-30.
 44. Lava Ultimate technical product profile. St. Paul, United States of America
 45. *Carvalho AO, Bruzi G, Giannini M, Magne P*: Fatigue resistance of CAD/CAM complete crowns with a simplified cementation process. *J Prosthet Dent* 2014; 111: 310-317.
 46. *He L, Swain M*: A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dent Mater* 2011; 27: 527-534.
 47. *Coldea A, Swain M, Thiel N*: In-vitro strength degradation of dental ceramics and novel PICN material by sharp indentation. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013; 26: 34-42.
 48. *Coldea A, Swain M, Thiel N*: Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater* 2013; 29: 419-426.
 49. *Dirxen CH, Blunck U, Preissner S*: Clinical performance of a new biomimetic double network material. *Open Dent J* 2013; 7: 118-122.
 50. <http://vitanorthamerica.com/wp-content/uploads/2013/01/ENAMIC-Stains-Instructions-for-use.pdf>

Address: 60-812 Poznań, ul. Bukowska 70

Tel.: +4861 8547043

e-mail: tom.bartkow@gmail.com

Received: 5th May 2015

Accepted: 7th June 2015