



Frank A. Spitznagel¹, Sonja Ganz²

Komposit-Matrix-Keramiken: Klinik und Wissenschaft

*Resin-matrix ceramics:
Clinical behavior and scientific evidence*



Frank A. Spitznagel (Foto: Nicole Kesting, UKD)

Warum Sie diesen Artikel lesen sollten? Why should you read this article?

Komposit-Matrix-Keramiken bilden eine neue Werkstoffklasse der Dentalkeramiken und bieten Zahnärzten und Patienten eine zeit- und kosteneffektive Alternative zu konventionellen handgefertigten Keramiken. Dieser Beitrag stellt diese neue Werkstoffklasse und deren Anwendungsmöglichkeiten vor.

Resin-matrix-ceramics form a new class of dental CAD/CAM ceramics and offer both clinicians and patients a cost and time-efficient alternative to conventional handmade ceramics. This publication presents this new class of materials and its possible applications.

Zusammenfassung: Die Gruppe der dentalen CAD/CAM-Werkstoffe wurde kürzlich um eine weitere Werkstoffklasse, die Resin-Matrix-Keramiken oder auch Komposit-Matrix-Keramiken, erweitert. Komposit-Matrix-Keramiken sollen die positiven Eigenschaften von Keramiken mit denen von Kunststoffen in einem Werkstoff in sich vereinen. Komposit-Matrix-Keramiken eignen sich für alle Arten von Einzelzahnversorgungen bis hin zur Implantatkrone und ermöglichen dem Zahnarzt diese in nur einer Sitzung chairside herzustellen. Ziel dieser Übersicht ist es, einen Überblick über die derzeit verfügbaren monolithischen CAD/CAM-Komposit-Matrix-Keramiken und deren Eigenschaften zu geben, sowie deren klinische Möglichkeiten und Grenzen basierend auf der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zu diskutieren. (Dtsch Zahnärztl Z 2017; 72: 326–331)

Schlüsselwörter: monolithisch; Vollkeramik; CAD/CAM; Verbundwerkstoffe; adhäsive Zementierung

Abstract: With the recent introduction of resin-matrix ceramics the group of dental CAD/CAM materials has been extended. Resin-matrix ceramics supposedly combine the positive material properties of both dental ceramics and composites. Resin-matrix ceramics are indicated for single tooth restorations and implant crowns and can be produced in a single treatment session. This article provides an overview of current available monolithic CAD/CAM Resin-matrix-ceramics and their mechanical properties as well as their clinical indications and limitations based on the current scientific literature.

Keywords: monolithic; all-ceramic; CAD/CAM; resin-infiltrated ceramic; resin bonding

1. Einleitung

1.1 Komposit-Matrix-Keramiken

Mittels CAD/CAM-Technologie kann heutzutage der gesamte Behandlungs- und Beratungsprozess voll digital durchgeführt werden. Dadurch lassen sich gestiegene Patientenwünsche hin zu äs-

thetischen und zahnfarbenen Restaurationen bei möglichst geringem Behandlungsaufwand vorhersagbar durchführen.

Bereits Mitte der 1980er Jahre wurden mit Einführung des CEREC-Systems (Dentsply Sirona, York, USA) erste Restaurationen computerunterstützt am Zahnarztstuhl in einer Behand-

lungssitzung hergestellt, um Patienten mit langlebigen und naturgetreuen Restaurationen zu versorgen [14]. Während damals vor allem Feldspatkeramiken Anwendung fanden, bieten sich dem Kliniker gegenwärtig eine Vielzahl von unterschiedlichen zahnfarbenen Werkstoffen an. Je nach Indikationsgebiet kann zwischen hochfesten poly-

¹ Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universitätsklinikum Düsseldorf

² Reichel Zahntechnik GmbH & Co. KG, Hermeskeil

Peer-reviewed article: eingereicht: 07.06.2017, revidierte Fassung akzeptiert: 21.06.2017

DOI.org/10.3238/dzz.2017.4946

kristallinen Oxidkeramiken, ästhetischem Lithiumdisilikat oder Hochleistungspolymeren gewählt werden. Während sowohl Zirkondioxid- als auch Lithiumdisilikatkeramiken in einem vorgesinterten Zustand gefräst und geschliffen werden und nachfolgend dichtgesintert werden müssen, bieten sich mit der Markteinführung von innovativen Komposit-Matrix-Keramiken neue Behandlungsmodalitäten für die CAD/CAM-Technologie. Komposit-Matrix-Keramiken werden als CAD/CAM-Blöcke in ihrer endgültigen Form geschliffen und bestehen aus einem Keramik-/Komposit-Gemisch, die die positiven Eigenschaften beider Werkstoffklassen in sich zu vereinen versuchen [22]. Komposit-Matrix-Keramiken lassen sich anhand ihres industriellen Polymerisationsmodus, der entweder allein unter hohen Temperaturen (HT) oder einer Kombination aus hohen Temperaturen und hohem Druck (HT/HP) stattfinden kann, in CAD/CAM-Komposite (HT) mit dispersen Füllern und einer vornehmlich organischen Phase und polymerinfiltrierte Keramiken (HT/HP) (kommerzieller Name: „Hybridkeramiken“) mit einer dominanten anorganischen Phase einteilen [12]. Abbildung 1 zeigt die vier derzeit verfügbaren Komposit-Matrix-Keramiken und Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die materialspezifischen Zusammensetzung nach [1] und [11].



Abbildung 1 CAD/CAM-Blöcke der derzeit verfügbaren Komposit-Matrix-Keramiken
Figure 1 Current available resin-matrix ceramics CAD/CAM blocks

1.2 Polymerinfiltrierte Keramik

Die derzeit einzig verfügbare „Hybridkeramik“ ist der Werkstoff VITA Enamic (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, D) [19]. Basierend auf dem Wissen der glasinfiltrierten Systeme, wurde Enamic entwickelt, um den natürlichen Zahn in seinen biomechanischen Eigenschaften nachzuahmen [5, 12]. Der Werkstoff besteht aus einem feldspatkeramischen Grundgerüst, welches von einem polymerbasierten Netzwerk (UDMA und TEGDMA) durchzogen wird. Von seinen mechanischen Eigenschaften bewegt sich das Material zwischen Keramiken und hochgefüllten Kompositen [7]. VITA

Enamic ist vom Hersteller für alle Arten von Einzelzahnversorgungen freigegeben. Das Material besitzt ein dentinähnliches E-modul von ca. 30 GPa und eine Biegefestigkeit, vergleichbar der von Feldspatkeramiken, um die 150 MPa [5, 25]. Durch das zahnähnliche E-Modul und einer möglichen „dämpfenden“ Wirkung soll das Material besonders für Implantatsuprakonstruktionen und zur Bisshhebung bei Verlusten der vertikalen Dimension der Okklusion geeignet sein [10, 19]. Ferner soll Enamic eine geringere Abrasion des Antagonisten verursachen und weniger anfällig für Schleifanpassungen sein [6, 25]. Durch die Synergie von Keramik und Komposit kön-

Werkstoff	Hersteller	Klassifikation	Zusammensetzung			Biegefestigkeit in MPa
			Monomer	Fülleranteil		
				Zusammensetzung	Ge-wichts%	
VITA ENAMIC	Vita Zahnfabrik	Polymerinfiltrierte Keramik	UDMA, TEGDMA	Aluminiumoxid-angereicherte Feinstruktur-Feldspatkeramik	86	150–160
Lava Ultimate	3M ESPE	CAD/CAM-Kunststoff	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	Nanokeramikpartikel (nicht agglomeriertes Siliziumoxid, nicht agglomerierte Zirkoniumoxid, aggregiertes Silizium-/Zirkonium-Cluster)	80	170–180
Cerasmart	GC Corp.	CAD/CAM-Kunststoff	Bis-MEPP, UDMA, DMA	Silikat, Bariumglass,	71	220–240
Shofu Block HC	Shofu Inc.	CAD/CAM-Kunststoff	UDMA, TEGDMA	Siliziumdioxid-Pulver, Zirkoniumsilikat	61	170–180

Tabelle 1 Zusammensetzung der derzeit verfügbaren Komposit-Matrix-Keramiken

Table 1 Composition of currently available resin-matrix ceramics



Abbildung 2 Ausgangssituation mit insuffizienten Füllungen und Restauration im 2. Quadranten
Figure 2 Initial situation: insufficient fillings and restorations



Abbildung 3 Keramikgerechte Präparationen
Figure 3 Minimal invasive preparations



Abbildung 4 Digitaler Scan der Präparationen
Figure 4 Optical impression of the preparations



Abbildung 5 Digitaler Designvorschlag der Polymer-infiltrierten Restaurationen
Figure 5 Digital design of polymer-infiltrated restorations

nen mögliche Risse, die bei normaler Kaubelastung oder bei klinischer Anpassung entstehen, an den Polymergrenzflächen abgelenkt werden. Durch diesen „Verstärkungsmechanismus“ können Risse maßgeblich abgeschwächt werden [4].

1.3 CAD/CAM-Kunststoffe

Zu den derzeit erhältlichen CAD/CAM-Kunststoffen gehören Lava Ultimate (3M Espe, Neuss, D), Cerasmart (GC Corp., Tokyo, Japan) und Shofu Block HC (Shofu Inc., Kyoto, Japan). Die Biegefestigkeit dieser Materialien liegt zwischen 170–240 MPa bei einem E-Modul von 7,5–12,8 GPa [1, 11]. Lava Ultimate besteht zu 79 Gew.% aus Zirkon-Silikat-Nanofüllerpartikeln, die in einer hochvernetzten Kunststoffmatrix (UDMA), ähnlich denen von direkten Füllungskompositen, eingebettet sind [12]. Cerasmart wird als ein mit Nanopartikeln hochdichter Kunststoff beschrieben, der 71 Gew.% Füller enthält [1]. Shofu Block HC ist aus einer Kunststoffmatrix und einem Silikatpulver und Zirkoniumsilikat zusammengesetzt [11]. Alle Komposit-Matrix-Keramiken zeigen ähnliche mechanische Eigenschaften und eine gute Schleifbarkeit mit dünn aus-

laufenden Rändern für den CAD/CAM-Bereich [1, 19]. Sowohl Cerasmart, als auch Shofu Block HC sind für alle Arten von Einzelzahnversorgungen, wie Veneers, Inlays, Onlays und Kronen freigegeben. Einzig für Lava Ultimate wurde 2015 die Kronenindikation zurückgezogen. In einer klinischen Studie von zementierten Lava Ultimate Kronen auf Implantaten wurde eine extrem hohe Dezentrierungsrate beobachtet [20]. Die Autoren der Studie vermuteten, dass das geringe Elastizitätsmodul von 12 GPa und eine nachfolgende „Aufbiegung“ der Kronen unter Belastung eine mögliche Erklärung hierfür sei [12, 20].

1.4 Adhäsive Zementierung

Als entscheidender Faktor für einen Langzeiterfolg von keramischen Restaurationen gilt ein adäquater adhäsiver Verbund von Zahn und Werkstoff [2]. Unabhängig von der Wahl des Zements ist die korrekte mechanische oder chemische Oberflächenvorbehandlung ebenso entscheidend für ein stabiles Langzeitergebnis [22].

Basierend auf In-vitro-Untersuchungen empfiehlt die „International Academy for Adhesive Dentistry“ (IAAD) [18] „Hy-

bridkeramiken“, z.B. VITA Enamic, mit 5 % Flusssäure für 60 sec zu ätzen und anschließend mit einem Silan zu benetzen. Durch das Ätzen mittels Flusssäure wird die Glasphase aus dem Werkstoff herausgelöst und so eine Oberflächenvergrößerung und nachfolgend eine verbesserte Penetration der Haftvermittler begünstigt. Anschließend soll die Restauration, je nach Restaurationsart und -dicke (Venner, Krone etc.), mit einem lichterhärtenden oder dualhärtenden Kompositzement adhäsiv zementiert werden.

Bei CAD/CAM-Kunststoffen, wie Lava Ultimate, GC Cerasmart und Shofu Block HC ist die Empfehlung der IAAD [17] und der Literatur [23] diese zunächst entweder mit 50 µm Aluminiumoxid oder mit 30 µm Siliziumdioxid bei mäßigem Druck abzustrahlen und anschließend ebenfalls mit einem dualhärtenden Kompositzement einzugliedern. Tabelle 2 stellt, gemäß den Richtlinien der IAAD, die empfohlenen Zementierungsprotokolle dar [17, 18].

1.5 Klinische Ergebnisse

Die klinische Datenlage zu sowohl polymerinfiltrierten Keramiken als auch CAD/CAM-Kompositen ist derzeit noch



Abbildung 6 „Hybridkeramische“ Restaurationen nach Fertigstellung und Politur
Figure 6 Polymer-infiltrated ceramic restorations after polishing

relativ gering. Neben einigen Falldarstellungen [8, 21] sind derzeit nur 2 klinische Studien [3, 26] veröffentlicht, die über einen mittleren Beobachtungsraum von 2 Jahren berichten.

Kronen aus dem polymerinfiltrierten Material VITA Enamic wurden retrospektiv in einer Privatpraxis über 24 Monate nachuntersucht [3]. 45 Enamic-Kronen wurden bei 35 Patienten eingegliedert. Die präparierten Zähne wurden digital abgeformt (Cerec AC) und chairside (Cerec 3D und Cerec MCXL, alle Dentsply Sirona) hergestellt. Die Enamic-Kronen wurden entweder mit einem kunststoffmodifizierten Glasionomerkem (GIZ) oder mit einem von 2 selbstadhäsiven Kompositzementen (Breeze, Pentron, Orange, USA oder G-Cem Link Ace, GC Corp.) adhäsiv eingegliedert. Nach 24 Monaten wurde bei 2 Kronen ein absolutes Versagen (Sekundärkaries mit Dezementierung der Krone und eine Zahnfraktur) beobachtet. Demnach betrug die geschätzte Kaplan-Meier-Überlebenswahrscheinlichkeit nach 2 Jahren für die GIZ-Kronen 92,8 % und für die mit selbstadhäsiv Kunststoffzement eingegliederten Enamic-Kronen 96,8 %. Allerdings gilt es bei der Studie zu beachten, dass die Kronen als Oberflächenvorbehandlung mit 50 µm Aluminiumoxid korundgestrahlt wurden, anstatt wie von der Literatur beschrieben und vom Hersteller empfohlen mit Flußsäure zu ätzen [18, 22].

Kürzlich wurden 2-Jahres-Überlebensdaten von Lava Ultimate Teilkronen übermittelt [26]. 42 Teilkronen wurden von „kalibrierten“ Zahnmedizinstudenten unter der Aufsicht von Zahnärzten im Seitenzahnbereich bei 30 Patienten inseriert. Die Zähne wur-

den keramikgerecht präpariert, konventionell mit einem Polyethermaterial (Impregum, 3M Espe) abgeformt und anschließend wurden die Gipsmodelle digitalisiert. Nach Digitalisierung der Modelle wurden dann die Teilkronen mit dem CEREC-System (Dentsply Sirona) geschliffen und mit CoJet (3M Espe) abgestrahlt und dem Syntac/Variolink II-System (Ivoclar Vivadent, Schaan, FL) adhäsiv eingesetzt. Innerhalb des Untersuchungszeitraums wurden 2 Zahnfrakturen und 3 Dezementierungen beobachtet, die alle eine Neuanfertigung erforderten. Dies ergab eine geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit von 85,7 % nach 2 Jahren.

2. Fallbeispiel

Eine 45-jährige Patientin stellte sich mit dem Wunsch nach Sanierung vor. Abbildung 2 zeigt die Ausgangssituation mit insuffizienten Amalgam- und Kompositfüllungen an den Zähnen 24, 25 und 27. Des Weiteren zeigte die Krone an 26 einen deutlich tastbaren Randspalt, welcher bereits zu einer Sekundärkaries am Rand geführt hatte. Zunächst wurde der 2. Quadrant konservierend mit Aufbau-füllungen (Clearfil Core/New Bond, Kuraray Co. Ltd., Chiyoda, Japan) vorbehandelt und der Zahn 26 nach Abnahme der insuffizienten Krone einer endodontischen Revisionsbehandlung beim Spezialisten unterzogen. Nachfolgend wurden die Zähne 24, 25 und 27 für minimalinvasive Inlays und Onlays defektorientiert und keramikgerecht präpariert. Es wurde hierbei streng darauf geachtet, dass alle Innenkanten abgerundet wurden und ein weicher Präparati-



Abbildung 7 Eingegliederte Polymer-infiltrierte Keramikrestaurationen unmittelbar nach adhäsiver Zementierung
Figure 7 Clinical situation immediately after cementation of Enamic restorations

onsverlauf eingehalten wurde. Der Zahn 26 wurde für eine Krone zirkulär mit einer abgerundeten Stufe auf eine Breite von 0,8 mm präpariert und okklusal um 1,5 mm reduziert (Abb. 3). Die präparierten Zähne wurden digital mit einer Intraoralkamera (CEREC Omnican, Dentsply Sirona) abgeformt (Abb. 4). Die Restaurationen wurden digital designt (Abb. 5) und anschließend aus der „Hybridkeramik“ VITA Enamic (Vita Zahnfabrik) herausgeschliffen (CEREC MCXL, Dentsply Sirona). Anschließend wurden die hybridkeramischen Restaurationen mit dem VITA Enamic Polishing Kit (VITA Zahnfabrik) poliert (Abb. 6). Vor der adhäsiven Eingliederung wurden die Restaurationen mit Alkohol gereinigt und die Oberfläche zunächst für 60 sec mit 4,9 % Flußsäure (IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent) angeätzt und nachfolgend mit einem Haft-

Werkstoff	Oberflächenvorbehandlung	Zement
Polymer-infiltrierte Keramik („Hybridkeramik“ Vita Enamic)	5 % Flusssäureätzung für 60 sec und Silanisierung	Licht-/Dualhärtender Kompositzement
CAD/CAM-Kunststoff Lava Ultimate Ceramart Shofu HC	Korundstrahlen mit 50 µm Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃) oder mit 30 µm Siliziumdioxid (SiO ₂ – z.B. Cojet) bei mäßigem Druck (≤ 2 bar) und Universal Haftvermittler	Dualhärtender Kompositzement

Tabelle 2 Empfohlene Zementierung von Komposit-Matrix-Keramiken

Table 2 Recommended adhesive cementation of resin-matrix ceramics

(Abb. 1–7, Tab. 1 u. 2: F.A. Spitznagel, S. Ganz)

vermittler (Monobond S, Ivoclar Vivadent) benetzt. Die Zähne wurden mit dem Syntac Classic System (Ivoclar Vivadent) vorbehandelt und die Restaurationen anschließend mit einem dualhärtenden Kunststoffzement (Variolink II, Ivoclar Vivadent) adhäsiv zementiert. Abbildung 7 zeigt die eingliederten Restaurationen unmittelbar nach Zementierung und Entfernung der Zementüberschüsse.

3. Diskussion

Diese Übersicht soll einen kurzen Überblick über die derzeit verfügbaren Komposit-Matrix-Keramiken und deren möglichen Anwendungsmöglichkeiten geben. Da monolithische Komposit-Matrix-Keramiken bereits in ihrem Endzustand geliefert werden, bieten diese generell eine hervorragende ästhetische Behandlungsmodalität für den Chairsidegebrauch im Praxisalltag. Der vereinfachte Arbeitsworkflow ohne zusätzliches Endsintern stellt hierbei einen deutlichen Zugewinn an Zeit und Ressourcen gegenüber konventionellen Keramiken dar. Allerdings ist das Indikationsgebiet dieser Werkstoffklasse nur auf Einzelzahn- und Implantatversorgungen aufgrund der vergleichsweise niedrigen Biegefestigkeit beschränkt.

Hinsichtlich der Stabilität des Glanzverhaltens und der Abrasion scheinen die Komposit-Matrix-Keramiken in einer In-vitro-Untersuchung den klassischen CAD/CAM-Keramiken gegenüber noch unterlegen, weisen jedoch ein ähnliches Verhalten wie der natürliche, menschliche Zahnschmelz auf [15]. Positiv ist die geringere Abnutzung der Antagonisten bei den Komposit-Matrix-Keramiken zu bewerten

[15]. Die Farbbeständigkeit verschiedener CAD/CAM-Keramikenmaterialien wurde in einer weiteren Laborstudie anhand von verschiedenen farbhaltigen Flüssigkeiten (Curry, Roter Wein, Kresse) untersucht [24]. Hier konnte gezeigt werden, dass Komposit-Matrix-Keramiken (Lava Ultimate, Ceramart, Shofu HC, Vita Enamic) anfälliger für Verfärbungen sind als eine leuzitverstärkte Glaskeramik (IPS Empress CAD) und Lithiumdisilikatkeramiken (IPS e.max CAD) – dies könnte bei ästhetischen Frontzahnrestaurationen ein limitierender Faktor sein.

Obwohl Komposit-Matrix-Keramiken Kunststoffanteile besitzen, zeigen diese eine ähnlich gute Biokompatibilität wie Titan oder Zirkoniumdioxid [9]. Diese positive Eigenschaft macht die Werkstoffklasse besonders für die Implantatprothetik interessant. Die industrielle Fertigung durch hohe Hitze- und Druckpolymerisation, die dadurch bedingte höhere Konversionsrate und die unterschiedliche Monomer-Zusammensetzung, scheinen hierbei zu einer reduzierten Monomer-Freigabe zu führen und somit einen positiven Einfluss auf die Biokompatibilität dieser neuen Werkstoffklasse zu nehmen [9, 12].


In der Literatur sind bis dato nur 2 klinische Studien, die über einen mittleren Beobachtungszeitraum von 2 Jahren berichten, publiziert. Die Überlebensraten von bis zu 96,8 % bei Enamic-Kronen [3] und 85,7 % bei Lava Ultimate Teilkronen [26] sind hierbei vielversprechend. Es bleibt jedoch abzuwarten, ob diese ersten aussichtsreichen klinischen Kurzeitergebnisse von Komposit-Matrix-Keramiken, sich mit Langzeitüberlebensraten von CAD/CAM-gefertigten glaskeramischen Restaurationen von bis zu 91 % nach 10 Jahren für Inlays und

Onlays [13] und bis zu 95 % nach 12 Jahren für Kronen [16], messen lassen.

4. Schlussfolgerungen

Aufgrund der relativen Neuheit von CAD/CAM-Komposit-Matrix-Keramiken fehlen noch aussagekräftige Langzeitergebnisse zu deren klinischen Verhalten. Erste klinische Untersuchungen zeigen hierbei vielversprechende Resultate. Monolithische CAD/CAM-Komposit-Matrix-Keramiken mit zahnähnlichen mechanischen Eigenschaften können eine ästhetische, kosten- und zeiteffiziente Alternative zu klassischen Keramiken darstellen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Team von Reichel Zahntechnik GmbH & Co. KG für die hervorragende Zusammenarbeit. 

Interessenkonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadressen

Dr. Frank A. Spitznagel
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Universitätsklinikum Düsseldorf
Moorenstraße 5, 40225 Düsseldorf
frank.spitznagel@med.uni-duesseldorf.de

ZTM Sonja Ganz
Reichel Zahntechnik GmbH & Co. KG
Trierer Str. 3, 54411 Hermeskeil
sonja.ganz@reichel-zahntechnik.de

Literatur

1. Awada A, Nathanson D: Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent* 2015
2. Blatz MB, Sadan A, Kern M: Resin-ceramic bonding: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 268–274
3. Chirumamilla G, Goldstein CE, Lawson NC: A 2-year retrospective clinical study of Enamic crowns performed in a private practice setting. *J Esthet Restor Dent* 2016
4. Coldea A, Fischer J, Swain MV, Thiel N: Damage tolerance of indirect restorative materials (including PICN) after simulated bur adjustments. *Dent Mater* 2015; 31: 684–694
5. Coldea A, Swain MV, Thiel N: Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater* 2013; 29: 419–426
6. Curran P, Cattani-Lorente M, Anselm Wiskott HW, Durual S, Scherrer SS: Grinding damage assessment for CAD-CAM restorative materials. *Dent Mater* 2017; 33: 294–308
7. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y: Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater* 2014; 30: 564–569
8. Dirxen C, Blunck U, Preissner S: Clinical performance of a new biomimetic double network material. *Open Dent J* 2013; 7: 118–122
9. Grenade C, De Pauw-Gillet MC, Pirard C et al.: Biocompatibility of polymer-infiltrated-ceramic-network (PICN) materials with Human Gingival Keratinocytes (HGKs). *Dent Mater* 2017; 33: 333–343
10. He LH, Purton D, Swain M: A novel polymer infiltrated ceramic for dental simulation. *J Mater Sci Mater Med* 2011; 22: 1639–1643
11. Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M et al.: Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J* 2014; 33: 705–710
12. Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ: From artisanal to CAD-CAM blocks: state of the art of indirect composites. *J Dent Res* 2016
13. Morimoto S, Rebello de Sampaio FB, Braga MM, Sesma N, Ozcan M: Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: A systematic review and meta-analysis. *J Dent Res* 2016; 95: 985–994
14. Mörmann WH: The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc* 2006; 137 (Suppl): 7S–13S
15. Mormann 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
16. Otto T, Mormann WH: Clinical performance of chairside CAD/CAM feldspathic ceramic posterior shoulder crowns and endocrowns up to 12 years. *Int J Comput Dent* 2015; 18: 147–161
17. Özcan M, Volpato C: Surface conditioning and bonding protocol for nanocomposite indirect restorations: How and why? *J Adhes Dent* 2016; 18: 82
18. Özcan M, Volpato C: Surface conditioning and bonding protocol for polymer-infiltrated ceramic: How and why? *J Adhes Dent* 2016; 18: 174–175
19. Reich S: Tooth-colored CAD/CAM monolithic restorations. *Int J Comput Dent* 2015; 18: 131–146
20. Schepke U, Meijer HJ, Vermeulen KM, Raghoobar GM, Cune MS: Clinical coding of resin nano ceramic restorations to zirconia abutments: A case series within a randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015
21. Selz CF, Vuck A, Guess PC: Full-mouth rehabilitation with monolithic CAD/CAM-fabricated hybrid and all-ceramic materials: A case report and 3-year follow up. *Quintessence Int* 2016; 47: 115–121
22. Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB: Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. *J Esthet Restor Dent* 2014; 26: 382–393
23. Spitznagel FA, Vuck A, Giertmuhlen PC, Blatz MB, Horvath SD: Adhesive bonding to hybrid materials: An overview of materials and recommendations. *Compend Contin Educ Dent* 2016; 37: 630–637
24. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Guth JF: Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. *J Mech Behav Biomed Mater* 2015; 55: 1–11
25. Swain MV, Coldea A, Bilkhair A, Guess PC: Interpenetrating network ceramic-resin composite dental restorative materials. *Dent Mater* 2016; 32: 34–42
26. Zimmermann M, Koller C, Reymus M, Mehl A, Hickel R: Clinical evaluation of indirect particle-filled composite resin CAD/CAM partial crowns after 24 months. *J Prosthodont* 2017