

Pia Sophie Baumgart¹, Rainer Haak², Constanze Olms³

Oberflächenabrieb von Hybridkeramikkronen auf einteiligen ZrO₂-Implantaten nach dynamischer Kausimulation

Surface wear of polymer-infiltrated dental ceramic on one-piece zirconia implants after long-term chewing simulation

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

Die Materialkombination von elastischen Hybridkeramikkronen auf starren, einteiligen Zirkoniumdioxidimplantaten erscheint für den klinischen Einsatz vielversprechend. / Material assembly of elastic polymer-infiltrated ceramic on rigid one-piece zirconia implant seems promising for clinical use.

Einführung: Ziel der Pilotstudie war es, Hybridkeramikkronen auf einteiligen ZrO₂-Versuchsimplantaten auf Oberflächenabrieb nach dynamischer Kausimulation (KS) zu untersuchen.

Material und Methoden: 20 Hybridkeramikkronen (Vita Enamic, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) wurden mittels CAD/CAM-Verfahren hergestellt und adhäsiv (RelyX Ultimate, 3M ESPE, Neuss, Deutschland) nach Herstellerangaben auf den Implantataufbauten befestigt. Nach KS von 1,2 Mio. Zyklen mit Thermocycling (5500 Zyklen bei 4 und 55 °C bei einer Kraft von 50 N, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) wurde der Abtrag der Kauflächen basierend auf röntgenmikro-computertomografischen Volumenscans (Skyscan 1172-100-50, Bruker, Massachusetts, USA) vor und nach KS berechnet. Der größte vertikale Abrieb wurde gemessen.

Ergebnisse: 1. Keine der getesteten Kronen war nach KS frakturiert oder gelockert. 2. Die Kronen zeigten einen maximalen vertikalen Abrieb von $M = 0,31 \pm 0,04$ mm (Mittelwert \pm SD) und einen Volumenabrieb von $M = 0,74 \pm 0,23$ mm³ (Mittelwert \pm SD).

Zusammenfassung: Trotz hohen Materialabriebs zeigte die geprüfte Materialkombination eine sehr geringe Frakturanfälligkeit und erscheint für den klinischen Einsatz vielversprechend.

Schlüsselwörter: Hybridkeramik; Implantat; einteilig; Zirkoniumdioxid

Introduction: The present study investigated surface wear of hybrid ceramic dental crowns on one-piece zirconia implants after mechanical loading.

Material and Methods: 20 hybrid ceramic crowns (Vita Enamic, Vita Zahnfabrik) were made using CAD/CAM technology and adhesively (RelyX Ultimate, 3M ESPE, Neuss, Germany) bonded to 20 implants. All specimen underwent chewing simulation (CS) of 1.2 million cycles, simultaneous thermocycling of 5500 cycles at 4 and 55 °C for 60 and a vertical force of 50 N (SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham, Germany). Abrasion was evaluated before and after CS, based on x-ray micro computed tomography volume scans (Skyscan 1172-100-50, Bruker, Massachusetts, USA). The highest vertical abrasion was measured.

Results: 1. After CS none of the tested crowns were fractured or loosened. 2. The maximum vertical wear after CS was $M = 0.31 \pm 0.04$ mm (mean \pm standard deviation) and the surface wear was $M = 0.74 \pm 0.23$ mm³ (mean \pm standard deviation).

Conclusions: Though the crowns suffered major wear after CS, the stability was not affected and no failure occurred. Therefore, the tested combination seems promising for clinical use.

Keywords: hybrid ceramic; polymer infiltrated ceramic; implant; one-piece; zirconia

Zitierweise: Baumgart P, Haak R, Olms C: Oberflächenabrieb von Hybridkeramikkronen auf einteiligen ZrO₂-Implantaten nach dynamischer Kausimulation. *Z Zahnärztl Implantol* 2017; 33: 138–142

DOI 10.3238/ZZI.2017.0138-0142

¹ Universitätsklinikum Leipzig AÖR, Universität Leipzig (Studentin der Zahnmedizin)

² Universitätsklinikum Leipzig AÖR, Department für Kopf- und Zahnmedizin, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Leipzig

³ Universitätsklinikum Leipzig AÖR, Department für Kopf- und Zahnmedizin, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Leipzig

Einleitung

Die Nachfrage nach ästhetisch anspruchsvollen zahnmedizinischen Restaurationen ist in der letzten Zeit gestiegen. Keramiken können diesen Anforderungen häufig gerecht werden. Insbesondere in der Implantologie hat Zirkoniumdioxid wegen der ästhetischen Vorteile, aber auch seiner hohen Bruchfestigkeit und der hervorragenden Biokompatibilität gegenüber Titan an Bedeutung gewonnen [5]. Einteilige ZrO₂-Implantate sind derzeit noch eine Nischenlösung. Der Grund liegt darin, dass die chirurgischen Möglichkeiten nicht immer die prothetischen Bedingungen erfüllen, es noch keine abgewinkelten Implantate aus ZrO₂ gibt und die Suprakonstruktion nur durch Zementierung erfolgen kann, wobei es zu Zementresten am Implantat mit der Folge von lokalen Entzündungen kommen kann [4].

Implantat und Suprakonstruktion bilden ein komplexes System, das den oralen Bedingungen standhalten muss. Ein häufiges Problem dabei ist die Frakturanfälligkeit der Keramikkronen [20]. Deshalb wurden sogenannte Hybridkeramiken entwickelt, die aus Keramik und Komposit bestehen und die Vorteile dieser beiden Werkstoffe vereinen sollen [21]. Eine dieser Hybridkeramiken ist Vita Enamic (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland). Sie besteht laut Hersteller zu 86 Gewichtsprozent aus Feldspatkeramik und zu 14 Gewichtsprozent aus Polymer, wobei die Materialien sich vollständig durchdringen, was zu einer verminderten Frakturanfälligkeit des Materials führen soll [7]. Bei geringerer Härte haben Hybridkeramiken eine höhere Bruchfestigkeit als herkömmliche Feldspatkeramiken [20]. Aufgrund des geringen Elastizitätsmoduls [7] könnte diese Keramik auf ZrO₂-Implantaten als Puffer dienen und so den oralen Umständen besser standhalten.

Bislang gibt es keine Empfehlungen für das Kronenmaterial auf ZrO₂-Implantaten und nur eine Studie, die Hybridkeramikkronen auf diesen Implantattypen getestet hat [20].

Zielstellung

Ziel der Pilotstudie war es, Hybridkeramikkronen auf einteiligen ZrO₂-Versuchsimplantaten auf Oberflächen-

abrieb nach dynamischer Kausimulation (KS) zu untersuchen. Die Belastung durch KS entsprach dabei einer In-vivo-Belastung von etwa 5 Jahren [3].

Material und Methoden

20 Hybridkeramikkronen aus Vita Enamic (VE) für Prämolaren (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) wurden mittels CAD/CAM-Verfahren hergestellt und mit dem Vita Enamic Polishing Set Technical (Vita Zahnfabrik) poliert. Die Konditionierung der Klebefläche der Krone erfolgte mit 5%igem Flusssäure-Gel (Vita Ceramics Etch, Vita Zahnfabrik) für 60 s. Die Klebeflächen der ZrO₂-Versuchsimplantate wurden mit Edelkorund (Rocatec Pre, Plus und Soft, 3M Espe, Neuss, Deutschland) bei 1 bar abgestrahlt. Abbildung 1 zeigt ein gesin-

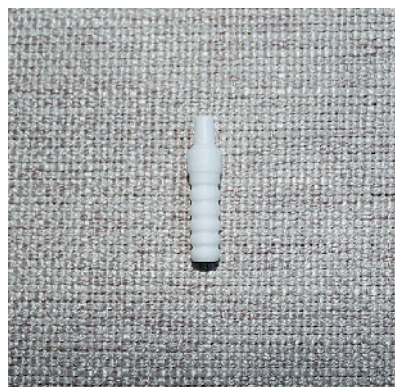


Abbildung 1 Gesintertes Versuchsimplantat
Figure 1 Sintered testing implant

tertes ZrO₂-Versuchsimplantat. Die Versuchsimplantate wurden aus vorgesinterten Zirkoniumdioxid-Blöcken in ihrer Grundform gedreht (Werkstatt für Feinmechanik, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Universität Leipzig). Die Zirkoniumdioxid-Versuchsimplantate wurden anschließend im zahntechnischen Labor nach Herstellerangaben gesintert. Es handelte sich um einheitliche Versuchsimplantate mit einem Konuswinkel von 3 Grad im Aufbauelement und einer Gesamtlänge von 21,5 mm, wobei das Abutment 6 mm in der Länge betrug. Das Gewinde wurde rein schematisch konstruiert. Die zirkuläre Stufe (Hohlkehle) wurde mit 1 mm so gestaltet, dass das Aufnehmen einer Prämolarenkrone mit ausreichender Schichtstärke

(okklusal 1,5 mm) möglich war. Da es sich um eine In-Vitro-Studie handelte, wurde auf eine Modifikation der Oberflächen der Implantatkörper verzichtet. Anschließend wurden die Kronen adhäsiv (Scotchbond Universal und RelyX Ultimate, 3M ESPE) nach Herstellerangaben auf den Versuchsimplantaten befestigt. Die Probekörper (Implantat + Krone) wurden mit einem Parallelometer zur exakten vertikalen Ausrichtung eingebettet. Dazu wurde Technovit 4000 als Einbettmasse (Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim, Deutschland) nach Herstellerangaben angerührt und die Proben wurden direkt in die Probenhalter des Kausimulators eingebettet. Der am Parallelometer befestigte Probekörper wurde senkrecht bis über die oberste Windung der Schraube des Implantats in der Einbettmasse versenkt und die Einbettmasse zum Aushärten im Probenhalter belassen. Abbil-

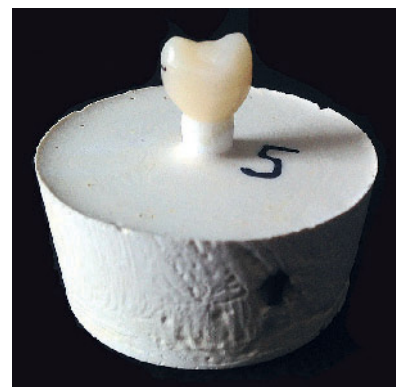


Abbildung 2 Befestigte Krone auf eingebettetem Implantat vor KS

Figure 2 Luted crown on embedded implant before chewing simulation

dung 2 zeigt eine befestigte Krone auf einem eingebetteten Implantat vor KS.

Zur Herstellung von Repliken wurden die befestigten Okklusalfächen der Kronen mit VPS Hydro Putty und VPS Hydro Light Body (Henry Schein Inc., New York, USA) vor und nach KS abgeformt. Diese Abformungen wurden anschließend mit Stycast 1266 (Loctite Henkel Electronic Materials, Westerlo, Belgium) ausgegossen. Die so entstandenen Repliken konnten nun röntgenmikrocomputertomografisch (Bruker SkyScan 1172-100-50, Bruker microCT, Kontich, Belgium) gescannt werden.

Die Proben wurden im Kausimulator (SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-

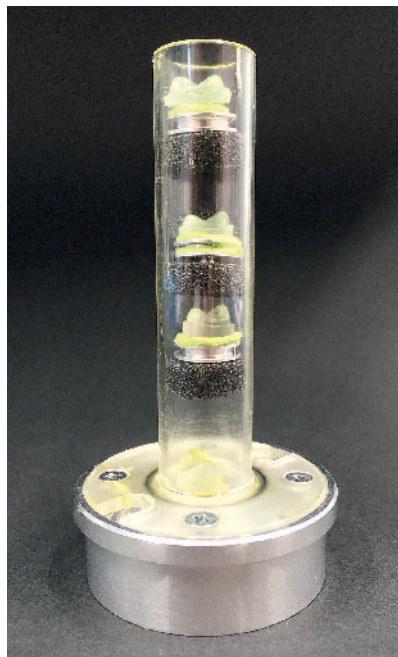


Abbildung 3 Vier Repliken auf Specimen Stubs und Schaumstoffpellets im Probenhalter des Röntgenmikrotomografs

Figure 3 Four replicas on specimen stubs and foam pellets in sample holder of the micro-CT

Westerham, Deutschland) mit 12.000.000 Zyklen bei einer Kraft von 50 N belastet. Um die oralen Temperaturschwankungen wiederzugeben, durchliefen die Kronen gleichzeitig ein Thermocycling von 5500 Zyklen mit wechselnden Temperaturen von 4 und 55 °C für jeweils eine Minute.

Nach KS wurden erneut Repliken der Okklusalfächen der Kronen in gleicher Weise wie vor KS hergestellt. Mithilfe von handelsüblicher Knete, Aluminium-Halterungen (SEM Specimen Stubs, Agar scientific, Essex, UK) und Schaumstoff-

pellets konnten 4 Proben gleichzeitig im Probenhalter des Röntgenmikro-Computertomografs (Mikro-CT) befestigt und gescannt werden. Eine einzelne Probe konnte wegen eines Fehlers im Ausguss nicht röntgenmikrocomputer-tomografisch gescannt werden.

In der Abbildung 3 sind 4 Repliken auf Specimen Stubs und Schaumstoffpellets im Probenhalter des Micro-CTs zu sehen.

Die Tabelle 1 zeigt die Scan-Parameter der Proben jeweils vor und nach KS.

Um aus den so entstandenen Bildern 3D-Datensätze zu erstellen, wurde das Programm NRecon v.1.6.10.4 (Bruker microCT) verwendet. Die Ringartefakte wurden softwareseitig (Ring Artifact Correction) um 20 minimiert. Die Aufhärtung (Beam Hardening Correction) betrug 60 %.

Um das abgetragene Volumen zu berechnen, wurden die Micro-CT 3D-Datensätze jeweils vor und nach Belastung in CTAn (CTAnalyzer V.1.15.4.0, Bruker microCT) segmentiert. Beide segmentierten Datensätze wurden voneinander abgezogen und das verbliebene Abtragsvolumen in Pixeln gemessen und anschließend in mm³ umgerechnet.

Um den größten Abtrag zu ermitteln, wurden innerhalb der Abrasionsfläche virtuell Kugeln „aufgeblasen“ und der Durchmesser der größten Kugel (an der Stelle des größten Abriebs) in Pixeln gemessen und anschließend in mm umgerechnet.

In der Abbildung 4 wird der maximale vertikale Abrieb nach KS als Pfeil dargestellt. Der Volumenabrieb zeigt sich als gelbe Fläche. Die statistische Auswertung erfolgte deskriptiv.

Parameter	
Spannung	60 KV
Stromstärke	167 µA
Filter	Kein Filter
Winkelschrittweite	0,7°
Scanauflösung	Large Pixel Scan, 960x666 px
Rotationswinkel	180°
Voxelgröße	14,985 µm
Frame-Averaging	20
Random Shift	10

Tabelle 1 Scan-Parameter im Micro-CT

Table 1 Scanning parameters used in micro-CT

Ergebnisse

1. Keine der getesteten Kronen war nach KS frakturiert oder gelockert.
2. Die Kronen zeigten einen maximalen vertikalen Abrieb von $M = 0,31 \pm 0,04$ mm (Mittelwert \pm SD) und einen Volumenabrieb von $M = 0,74 \pm 0,23$ mm³ (Mittelwert \pm SD). Damit lag der Abrieb im makroskopisch sichtbaren Bereich. In den Abbildungen 5 und 6 sind jeweils die Werte für den maximalen vertikalen Abrieb und den Volumenabrieb nach KS als Punkte dargestellt.

Diskussion

Ziel dieser Pilotstudie war es, Hybridkeramikronen auf einteiligen ZrO₂-Versuchsimplantaten auf Oberflächenabrieb nach dynamischer KS zu untersuchen. Die Untersuchungen ergaben Frakturen weder am Implantat noch an der Krone bei Dauerbelastung durch KS, und die Abrasion der Kronen war nach KS makroskopisch sichtbar.

Keine der getesteten Kronen frakturierte oder lockerte sich während der KS. Das kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen konnten in der vorliegenden Studie ausreichende Schichtstärken, die der Hersteller vorgibt, genau eingehalten werden. Lawson et al. beschreibt eine ausreichende Belastbarkeit von Hybridkeramiken bei ausreichender Schichtstärke [17]. Zum anderen konnte durch die Größe der Versuchsimplantate genügend Friktionsfläche am Implantataufbau gestaltet werden, sodass die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur oder eines Debondings verringert werden konnte. Ebenso lag die eingestellte Kaukraft von 50 N deutlich unter der maximal erreichbaren In-vivo-Kaukraft von etwa 500 N [23]. Diese Einstellung imitierte ein moderates Zusammenbeißen [14].

El Zhawi et al. untersuchten den Abrieb und die Bruchfestigkeit von VE-Kronen, allerdings in Verbindung mit Komposit-Abutments statt ZrO₂-Implantaten. Es wurden VE-Kronen nach kurz- und langfristiger Belastung untersucht, wobei die Proben der langfristigen Belastung am ehesten mit den Proben unserer Studie verglichen werden können [11]. In beiden Studien kam es zu keinem Versagen während Kaubelastung. Einen großen Unterschied findet man jedoch in

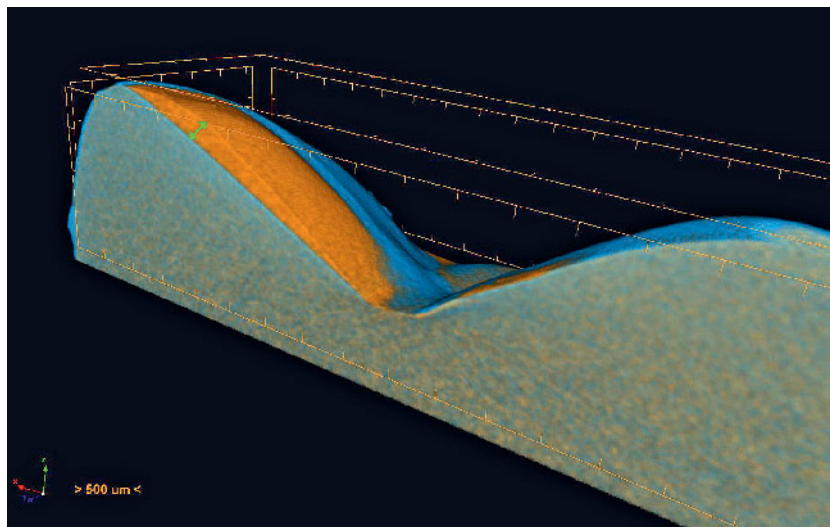


Abbildung 4 Darstellung der Abrasionsfläche (gelbe Fläche) und maximaler vertikaler Abrieb (Pfeil)

Figure 4 Area of abrasion (yellow surface) and maximum vertical wear (arrow)

Abbildung 1–4: Baumgart/Olms

den Ergebnissen der Abriebmessungen. Denn trotz höherer Kaukraft von 200 N anstelle von 50 N zeigten die Kronen in unserer Studie einen deutlich größeren Abrieb. Der relativ hohe Materialabrieb kann durch die Materialeigenschaften erklärt werden. Verglichen mit Komposit und dentinähnlichen Materialien ist ZrO₂ ein sehr starrer Werkstoff. Während KS bewegt sich das Implantat somit nicht und es gibt mit der Krone nur noch eine Komponente im System, die die okklusalen Kräfte abfangen kann, was in einem erhöhten Materialabrieb an der Krone resultieren kann. Obwohl der Abrieb makroskopisch sichtbar war, könnte dieser

dazu beitragen, das Implantat vor Frakturen zu schützen. Denn eine Fraktur am Implantat würde für den Patienten eine erneute Operation nach sich ziehen, während der Austausch der Suprakonstruktion ohne invasive Maßnahmen möglich ist.

Der Materialabrieb kann durch verschiedene Aspekte erklärt werden. Denn laut der Studie von Lauvahutanon et al. [16] weisen Hybridkeramikkronen einen geringeren Abrieb auf als direkte Restaurationen aus Komposit [16]. In der Studie von Mörmann et al. wird die Abrasion verschiedener Dentalkeramiken nach gleicher Anzahl und Kaukraft

im Kausimulator verglichen, unter anderem auch die von VE. Die Ergebnisse zeigten eine Abrasion am Material, die vergleichbar zu anderen CAD/CAM-gefertigten Keramiken ist [18]. Da Mörmann et al. [18] aber Schmelz von extrahierten Molaren als Antagonisten benutzten, ist die Studie nicht mit der Vorliegenden vergleichbar.

Bis heute wurden schon einige Daten über VE publiziert [1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 18, 19, 21, 22], aber erst eine Studie untersuchte die Materialkombination mit Zirkoniumdioxid-Implantaten [20]. In dieser wurde die Bruchfestigkeit von VE mit der von Feldspatkeramiken auf ZrO₂-Probeimplantaten unter Verwendung verschiedener Befestigungsmaterialien, verglichen. Die Ergebnisse zeigten eine höhere Bruchfestigkeit von VE als von Feldspatkeramiken. Die Probestkörper wurden nach Befestigung für 24 h in destilliertem Wasser gelagert, das heißt, es erfolgte keine dynamische Belastung. Wegen der unterschiedlichen Zielstellung und Methodik – keine dynamische Belastung, keine Abriebsmessungen – ist kein Vergleich mit der vorliegenden Studie möglich.

Da es sich hier um eine Pilotstudie handelte und die Machbarkeit der beschriebenen Methode im Vordergrund stand, wurde die Untersuchung an einer geringen Fallzahl von Probestkörpern durchgeführt. Zwar ist die Aussagekraft durch die Fallzahl begrenzt, dies wird jedoch durch niedrige Streuungen (SD) relativiert.

Die Abtragsmessung erfolgte mittels Mikro-CT an Repliken der Okklusallä-

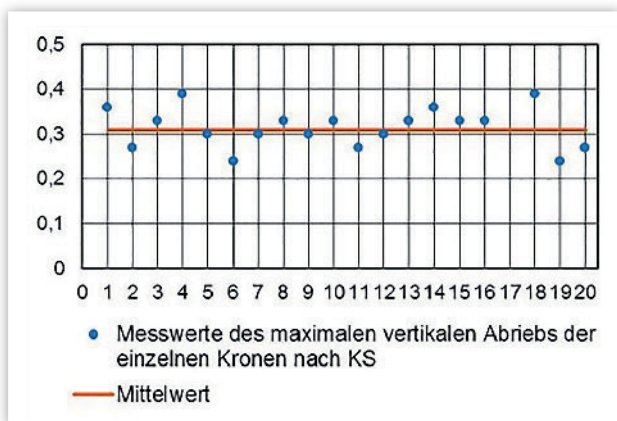


Abbildung 5 Maximaler vertikaler Abrieb in mm (Y-Achse) der einzelnen Kronen (durchnummeriert, X-Achse) nach KS

Figure 5 Maximum vertical wear in mm (ordinate) of all crowns (abscissa) after CS

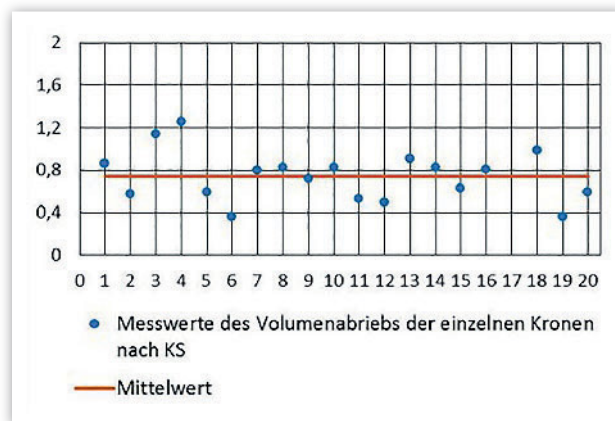


Abbildung 6 Volumenabrieb in mm³ (Y-Achse) der einzelnen Kronen (durchnummeriert, X-Achse) nach KS

Figure 6 Volume wear in mm³ (ordinate) of all crowns (abscissa) after CS
 Grafik 5–6: Baumgart/Olms

chen der Suprakonstruktionen und nicht an den Proben selbst. Dies erschien sinnvoll, um das Mikro-CT als Methode für die künftige klinische Abtragsmessung zu etablieren, wobei Strahlenbelastungen für Patienten vermieden werden müssen. Außerdem hat das Ausgussmaterial (Stycast Epoxidharz) eine sehr geringe Viskosität von 0,65 Pa s [12] und deshalb gute Fließ-eigenschaften auch in kleinere Volumina, wodurch exakte Repliken möglich werden.

Die Nutzung runder Steatitkugeln anstatt eines natürlichen Zahns mit seiner Anatomie und Zusammensetzung als Antagonist während KS kann ein limitierender Faktor dieser Studie sein.

Möglicherweise ist die Abrasion zusätzlich abhängig von der Art der Konstruktion. So könnte ein unterschiedlicher Abrieb von VE-Kronen auf Zirkoniumdioxid-Implantaten zu denselben Kronen auf einem natürlichen Zahn stattfinden, wie der Vergleich zur Studie von El Zhawi et al. zeigt [11]. Dieser Aspekt sollte in weiteren Studien untersucht werden.

Schlussfolgerung

Die hier vorgestellte Studie zeigt, dass die Materialkombination von elastischen Hybridkeramikronen auf starren, einteiligen Zirkoniumdioxid-Implantaten für den klinischen Einsatz aussichtsreich erscheint. Zwar zeigten die Kronen einen erhöhten Materialabrieb, die Stabilität des Systems wurde jedoch nicht beeinflusst, da es zu keinen Frakturen oder Dezementierungen kam. Zur Vorbereitung des klinisch-praktischen Einsatzes sind weitere Untersuchungen auch in vivo notwendig. Das Micro-CT an Repliken erwies sich als geeignet, den Abtrag von zahnärztlichen Restaurationen zu ermitteln.

Interessenkonflikte: Die Autoren geben an, dass keine möglichen Interessenkonflikte bestehen.

Korrespondenzadresse

Dr. Constanze Olms, MME
Oberärztin, Spezialistin für Prothetik
Universitätsklinikum Leipzig
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
und Werkstoffkunde
Liebigstr. 12, Haus 1, 041103 Leipzig
Constanze.olms@medizin.uni-leipzig.de

Literatur

1. Aboushelib MN, Elsafi, MH: Survival of resin infiltrated ceramics under influence of fatigue. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials* 2016; 32: 529–534
2. Albero A, Pascual A, Camps I, Grau-Benitez, M: Comparative characterization of a novel cad-cam polymer-infiltrated-ceramic-network. *Journal of clinical and experimental dentistry* 2015; 4: 495–500
3. Ali SAM, Manoharan PS, Shekhawat KS, Deb S, Chidambaram S, Konchada J, Venugopal N et al.: Influence of Full Veneer Restoration on Fracture Resistance of Three Different Core Materials: An Invitro Study. *Journal of clinical and diagnostic research* 2015; 9: 12–15
4. Cacaci C, Cantner F, Mucke T, Randelzhofer P, Hajto J, Beuer F: Clinical performance of screw-retained and cemented implant-supported zirconia single crowns: 36-month results. *Clinical oral investigations* 2016
5. Cionca N, Hashim D, Mombelli A: Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? *Periodontology* 2000 2017; 1: 241–258
6. Coldea A, Swain MV, Thiel N: Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2013; 4: 419–426
7. Coldea A, Swain MV, Thiel, N: Hertzian contact response and damage tolerance of dental ceramics. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2014: 124–133
8. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y: Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials* 2014; 5: 564–569
9. Dirxen C, Blunck U, Preissne S: Clinical performance of a new biomimetic double network material. *The open dentistry journal* 2013: 118–122
10. Elsaka SE: Repair bond strength of resin composite to a novel CAD/CAM hybrid ceramic using different repair systems. *Dental materials journal* 2015; 2: 161–167
11. El Zhawi H, Kaizer MR, Chughtai A, Moraes RR and Zhang Y. Polymer infiltrated ceramic network structures for resistance to fatigue fracture and wear. *Dent Mater*, 2016; 32:1352–1361
12. Emerson & Cuming: STYCAST 1266. Two Component, Low Viscosity, Epoxy Encapsulant 2003
13. Frankenberger R, Hartmann VE, Krech M, Krämer N, Reich S, Braun A, Rogendorf M: Adhesive luting of new CAD/CAM materials. *International journal of computerized dentistry* 2015; 1: 9–20
14. Kayumi S, Takayama Y, Yokoyama A, Ueda N: Effect of bite force in occlusal adjustment of dental implants on the distribution of occlusal pressure: comparison among three bite forces in occlusal adjustment. *International journal of implant dentistry* 2015; 1: 14
15. Keul C, Muller-Hahl M, Eichberger M, Liebermann A, Roos M, Edelhoft D et al.: Impact of different adhesives on work of adhesion between CAD/CAM polymers and resin composite cements. *Journal of dentistry* 2014; 9: 1105–1114
16. Lauvahutanon S, Takahashi H, Oki M, Arksornnukit M, Kanehira M, Finger W: In vitro evaluation of the wear resistance of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dental materials journal* 2015; 4: 495–502
17. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO: Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials* 2016; 11: 275–283
18. Mörmann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A (2013): Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: Two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2013: 113–125
19. Özarslan MM, Büyükkaplan UŞ, Barutçigil Ç, Arslan M, Türker N, Barutçigil K: Effects of different surface finishing procedures on the change in surface roughness and color of a polymer infiltrated ceramic network material. *J Adv Prosthodont* 2016; 1: 16
20. Rohr N, Coldea A, Zitzmann, NU, Fischer J: Loading capacity of zirconia implant supported hybrid ceramic crowns. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2015; 12: 279–288
21. Schwenter J, Schmidli F, Weiger R, Fischer J: Adhesive bonding to polymer infiltrated ceramic. In: *Dental materials journal* 2016; 5: 796–802
22. Tassin M, Bonte E, Loison-Robert LS, Nassif A, Berbar T, Le Goff S, Berdal A et al.: Effects of High-Temperature-Pressure Polymerized Resin-Infiltrated Ceramic Networks on Oral Stem Cells. *PLOS ONE* 2016; 5
23. Takahashi M, Yamaguchi S, Fujii T, Watanabe M, Hattori Y: Contribution of each masticatory muscle to the bite force determined by MRI using a novel metal-free bite force gauge and an index of total muscle activity. *J. Magn. Reson. Imaging (Journal of Magnetic Resonance Imaging)* 2016; 4: 804–813