

Persönliche PDF-Datei für Pascal Marquardt

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Zweiteilige Sofortimplantate aus ATZ-Keramik in der ästhetischen Zone

DOI 10.1055/a-1547-5991

ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt 2021; 130:
428–435

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Verlag und Copyright:

© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 0044-166X

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags



Zweiteilige Sofortimplantate aus ATZ-Keramik in der ästhetischen Zone

Pascal Marquardt

Keramikimplantate sind heute eine sichere Alternative zu bewährten Titanimplantaten. Besonders in der ästhetischen Zone zeigen sich Vorteile. Zweiteiligkeit ermöglicht dabei einen universellen Einsatz bis hin zur Sofortimplantation. Der vorliegende Artikel beschreibt schrittweise die erweiterten Möglichkeiten bei der Sofortimplantation von zentralen Incisivi auch mit durchmessererweiterten, zweiteiligen Keramikimplantaten und diskutiert klinisch relevante Aspekte.

Einleitung

Keramikimplantate sind keine neue Entwicklung, zeigten jedoch lange Jahre klinisch keine erfolgversprechenden Ergebnisse. Technische Neuerung, wie eine optimierte Oberfläche, eine veränderte Form und nun auch die Option der Zweiteiligkeit, haben dies verändert. Mittlerweile zeigen keramische Implantate in puncto Osseointegration, Fraktursicherheit und letztlich Überlebensraten vergleichbare Ergebnisse wie Titanimplantate [1].

Diesbezüglich scheint die Therapieform mit konventionellen Titanimplantaten ausgereift. Deren Überlebensraten werden nach 20 Jahren mit 83,8% und 96,1% nach 10 Jahren bei gesunden Patienten angegeben [2]. Nach 10 Jahren zeigt jedoch jeder 5. Patient (20%) an einem seiner Implantate (entspricht 10% der Implantate) einen Periimplantitis entsprechenden Befund [3]. Neben chirurgischen Fehlern hinsichtlich Positionierung, falschem Implantatdurchmesser, fehlender Attached Gingiva oder falschem Einsatz simultaner Knochenaugmentation kann auch die immunologische Reaktion auf Titanoxid als Partikelreaktion zu einem Misserfolg beitragen.

Partikelreaktionen auf Titanoxid und individuelle Testung

Titan bildet aufgrund seiner hohen Oxidationsfähigkeit eine vollständig oxidierte Oberfläche aus und hat so im Gegensatz zu anderen Metallen kein allergisierendes Potenzial. Titanoxid liegt immer als partikuläre Struktur im Gewebe vor [4] und bildet keine freien Ionen aus (wie z. B. Aluminiumoxid). Die Partikel werden durch Mikrobewegung, Partikelabrieb und Korrosion an das umliegende Gewebe abgegeben [5]. Diese Kombination von mechanischen und elektrochemischen Prozessen im biologischen Gewebe wird als Tribokorrosion bezeichnet und

führt zu einer immunologischen Reaktion im umliegenden Gewebe durch eine Aktivierung des unspezifischen Abwehrsystems [6]. Makrophagen werden aktiviert und TNF- α und IL-1 β als Initiatorzytokine zur Osteoklastenaktivierung und Kollagenolyse aktiviert. Bei den meisten Menschen stellt sich dieser Prozess als positive und wieder abklingende Osseointegrationshilfe von Titanimplantaten dar. Allerdings reagieren einige Patienten immunologisch mit einer dauerhaft deutlich erhöhten Produktion dieser pro-entzündlichen Initiatorzytokine. Zudem konnte eine Veränderung der oralen Mikroflora um die Implantataustrittsstellen festgestellt werden [7]. Das Ausmaß der immunologischen Reaktion ist dabei u. a. abhängig von der Größe der Titanoxidpartikel. Besonders die im umliegenden Gewebe sich befindenden Partikel mit einer Größe von 1–3 μm lösen experimentell eine bis zu 17-fach erhöhte Freisetzung von Initiatorzytokinen im Vergleich zu Oxidkeramiken aus [8]. Kleinere Partikel im Nanobereich passieren die Zellen, Partikelgrößen um 0,2 μm lösen eine geringere, aber noch 8-fach erhöhte Freisetzung aus. Zirkondioxid hat an sich einen vielfach geringeren Abrieb bei hoher Korrosionsbeständigkeit und daher kaum Reaktionsmöglichkeiten.

Die sich im Gewebe befindenden Makrophagen reagieren immer auf Titanoxidpartikel mit der Ausschüttung pro-entzündlicher Zytokine, allerdings ist das Ausmaß und die Auswirkung individuell stark unterschiedlich. Der aktuelle immunologische Zustand des Patienten kann zuverlässig mit einem Titanstimulations-Test erfasst werden [7]. Hierzu werden in eine Blutprobe des Patienten Titanoxidpartikel entsprechender Größe zur Makrophagenstimulation gegeben und die Freisetzung der proentzündlichen Zytokine TNF- α und IL-1 β gemessen. Anhand des Referenzbereichs kann nun eine Aussage über die potenziell pro-entzündliche Neigung des Patienten vor Implantatinsertion erfolgen.

Neben direkten lokalen Auswirkungen im Gebiet des Implantats muss zudem beachtet werden, dass die Zahl chronisch erkrankter Menschen mit entsprechend schwieriger Therapie in Deutschland seit Jahren stetig zunimmt. Hier sollten grundsätzlich auch kleine immunologische Reize vermieden werden.

Eine geringere Plaque-Akkumulation an der Zirkonoxidoberfläche wird ebenfalls diskutiert, wobei die Datenlage hier nicht eindeutig ist [9, 10]. Es scheint aber, dass Zirkonoxid eine bessere Weichgewebesituation als Titan ermöglicht. So wurde insbesondere auf Zirkonoxidoberflächen eine schnellere Proliferation gingivaler Fibroblasten und ein höherer Kollagenanteil als auf Titanoberflächen beobachtet [11, 12]. Dabei gelingt die Weichgewebeategration am Abutment am besten, wenn dessen Flächen nicht glasiert oder absolut hochglanzpoliert sind [13].

Auch wenn hierzu noch keine Langzeitdaten vorliegen, erhoffen sich viele Autoren positive Auswirkungen auf den Langzeiterfolg hinsichtlich einer deutlich reduzierten Rate periimplantär erkrankter Implantate.

Ästhetische Aspekte keramischer Implantate

Aus ästhetischer Sicht ist vor allem der Einsatz von keramischen Implantaten in der ästhetischen Zone eine vielversprechende Option. So zeigen Keramikimplantate nicht nur bei dünnem Gingivabiotyp Vorteile [14, 15, 16]. Durch die zahnfarbenen Eigenschaften kann in vielen Fällen die Insertion sofort nach der Extraktion, minimalinvasiv ohne Lappenbildung und ohne zusätzliches Bindegewebstransplantat erfolgen, wie es bei Titanimplantaten häufig für ein optimales, ästhetisches Auskommen notwendig ist [17]. Dies zeigt sich insbesondere durch einen ausbleibenden Grauschimmer im Bereich der marginalen Gingiva, der sowohl bei Titanimplantaten als auch bei stark verfärbten, endodontisch insuffizient behandelten Zähnen häufig störend auftritt [18]. Die korrekte dreidimensionale Positionierung eines Standarddurchmesser-Implantats von maximal 4,5 mm Durchmesser wird dabei aus diesen Gründen 2 mm hinter der bukkalen Wand gefordert.

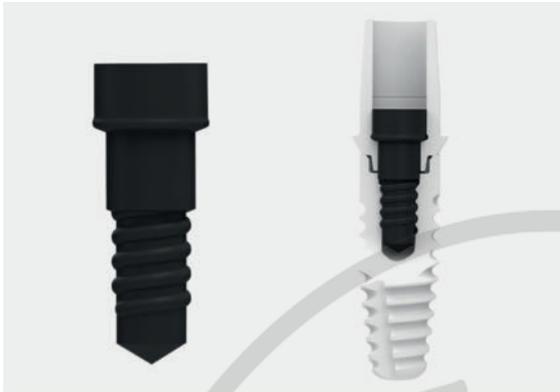
Neben der farblichen Kaschierung des dunklen Implantatkörpers stellt eine augmentierte, bukkale Knochenwand von ca. 2 mm (unabhängig vom Insertionszeitpunkt) einen ausreichenden Resorptionsschutz dar und damit eine suffiziente ästhetische und funktionelle Unterstützung des darüber liegenden Weichgewebes.

In einer Studie konnten Lim et al. 2018 [19] zum ersten Mal bei mit Retraktionsfäden herbeigeführten Rezessionen im Tierexperiment zeigen, dass sich im Vergleich zu Titan keramische Implantate statistisch signifikant besser auswirken, indem sie durch Abheilung einen größeren Teil der freigelegten Implantatoberfläche bedeckten. Natürlich bedarf es hier weiterer klinischer Studien, jedoch verdeutlicht die Untersuchung, dass keramische Implantate auch im Falle einer eintretenden unerwünschten Rezession weichgewebig besser kompensieren und besser zu korrigieren sind.

Zweiteilige Implantate aus ATZ-Keramik

Zur Herstellung von vollkeramischen Implantaten werden verschiedene Formen von Zirkoniumdioxid eingesetzt: Y-TZP, Y-TZP-A (mit ca. 2% Al_2O_3) und ATZ (Alumina-Toughened Zirconia) mit 20% Al_2O_3 sind die Materialien der Wahl. ATZ-Keramik zeigt im Vergleich zu reiner Y-TZP-Keramik eine deutlich erhöhte Biegefestigkeit und Härte [20]. Hinsichtlich Osseointegration und Bone to Implant Contact (BIC) konnten keine Unterschiede zwischen mikrorauen Y-TZP-Keramiken und der festeren ATZ-Keramik festgestellt werden. Eine Niedertemperaturdegeneration (hydrothermale Alterung), welche die Veränderung der Festigkeit von Keramiken durch Wassereinlagerungen widerspiegelt, konnte experimentell in einer Simulation von 60 Jahren zwar festgestellt werden, betrifft aber nur die obersten Schichten der Implantatoberfläche und ist von vielen Faktoren abhängig. Im Vergleich ist auch dieser Alterungsprozess bei ATZ-Keramiken reduziert [21, 22]. Somit scheint der langfristige Stabilitätserhalt keramischer Implantate aus ATZ-Keramik gewährleistet. Ein wesentliches Merkmal, das bei der Herstellung vollkeramischer Implantate beachtet werden muss, ist die Fräsung aus idealerweise industriell gesintertem Material (Hartbearbeitung). Dies stellt die höchste Sicherheit hinsichtlich Bruchfestigkeit und Reinheit, sowohl der Oberflächengüte als auch des gesamten keramischen Körpers, dar, ist allerdings auch der aufwendigste Herstellungsprozess. Vom Hersteller vorgegebene Minimalschichtstärken und Konstruktionsmerkmale der Abutments müssen unbedingt eingehalten werden.

Einteilige Implantate sind insbesondere in der Oberkieferfront problematisch. Zum einen bedarf es häufig einer Achsenkorrektur für den prothetischen Aufbau, wenn das Implantat anatomisch bedingt im Verhältnis zur Suprakonstruktion abgewinkelt gesetzt werden muss. Präparative Maßnahmen können dabei einen negativen Einfluss auf die Bruchfestigkeit des Implantats haben [23, 24], auch, wenn sich bei Implantaten aus ATZ weniger Rissbildung als im Vergleich zu keramischen Implantaten aus Y-TZP zeigt. Zudem ist die Zementierung in einer zu den Nachbarzähnen skaloppierenden Gingiva hinsichtlich des Zementspaltes und der Möglichkeit, den Zement suffi-



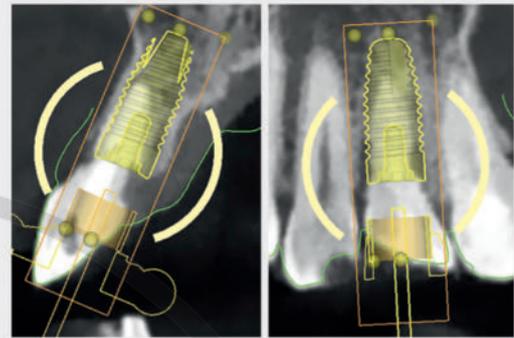
► **Abb. 1** Die carbonfaserverstärkte Vicarbo-Abutmentschraube.



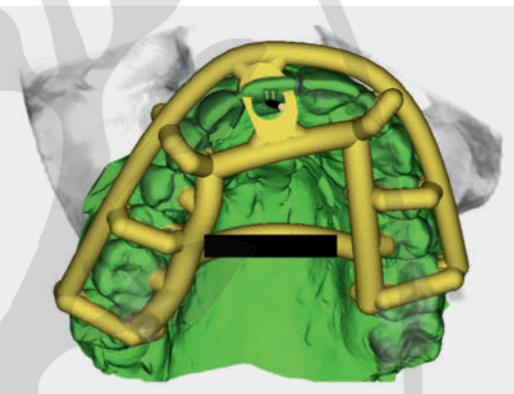
► **Abb. 2** Klinische Ausgangssituation.

zient zu entfernen, problematisch. Daher ist gerade in der ästhetischen Zone eine Verschraubung durch ein zweiteiliges Implantat indiziert, das bevorzugt palatinal verschraubt gesetzt werden sollte, aber auch bei größeren, anatomisch bedingten Achskorrekturen optimal über ein individuell angepasstes Abutment zementiert werden kann.

Metallschrauben zur Verankerung hoch-fester, glatter keramischer Gewindeflächen scheinen problematisch hinsichtlich Schraubenlockerungen. Der prothetische Aufbau des in der folgenden Falldarstellung verwendeten Implantats (Zeramex XT, Dentalpoint AG, Spreitenbach, Schweiz) wird über eine carbonfaserverstärkte PEEK-Schraube im Implantat befestigt (Vicarbo, Dentalpoint AG, Spreitenbach, Schweiz) (► **Abb. 1**). In einer In-vitro-Studie konnten Spieß et al. 2018 [25] bei dieser Abutment-Implantat-Verbindung bei dynamischer Belastung und hydrothormaler Alterung eine hohe Frakturresistenz von >1100 N zeigen, ebenso eine hohe Bruchfestigkeit der Schraube. Keine der Schrauben brach im Versuch. Durch das speziell an Keramik angepasste Schraubenverhalten kann ein langfristig stabiler Halt der Implantat-Abutment-Verbindung gewährleistet werden.



► **Abb. 3** Sagittale und transversale Ansicht der 3-D-Planung (SMOP).



► **Abb. 4** 3-D-Konstruktion der Navigationsschiene (SMOP).

Patientenfall

Die Patientin Anfang dreißig stellte sich mit Beschwerden an dem endodontisch behandelten Zahn 11 vor. Klinisch und radiologisch zeigte sich eine ausgeprägte externe Resorption (► **Abb. 2**). Der Zahn war nicht erhaltungswürdig. In der 3-dimensionalen Auswertung war ein ausreichendes zirkuläres wie apikales Knochenangebot zu sehen, die bukkale Wand stellte sich suffizient erhalten dar (► **Abb. 3**). Die Gingiva erschien ausreichend dick und ohne Rezession, sodass die Bedingungen für ein erfolgreiches Sofortimplantat gegeben waren. Sofortimplantate in der Oberkieferfront stellen eine Indikation zur navigierten Implantologie dar. Gemäß der prothetischen Vorgabe konnte das Implantat digital so geplant werden, dass eine palatinal verschraubte Krone eingesetzt werden konnte (SMOP, Swissmeda AG, Baar, Schweiz) (► **Abb. 4**). Zur Überbrückung der Osseointegration des Implantats wurde eine vollkeramische Flügelbrücke mit leichter Präparation an Zahn 21 und einer zusätzlichen Rotationssicherung an Zahn 12 hergestellt (► **Abb. 5**). Auf den Zahn 21 wurde final aufgrund umfangreicher Composite-Aufbauten ein 360-Grad-Veneer geplant. Die Zahnkrone 11 wur-



► **Abb. 5** Vollkeramische Klebebrücke als Langzeitprovisorium.



► **Abb. 6** Nach Abtrennen der Krone mit Spalt eingesetzte Klebebrücke.



► **Abb. 7** Okklusale Ansicht vor Implantatinsertion.

de etwa 3 Wochen vor der Sofortimplantation entfernt und die Klebebrücke mit einem leichten Spalt zur auf Knochenniveau gekürzten Wurzel bedingt abnehmbar verklebt (► **Abb. 6**). Nach 3 Wochen erfolgte ein partieller gingivaler Verschluss des Spaltes, wodurch im vorliegen-



► **Abb. 8** Vertikale Extraktion mit Benex-Control der resorbierten Wurzel.



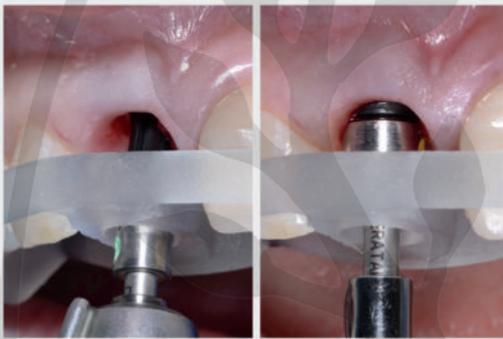
► **Abb. 9** Zirkuläre, externe Resorption der Wurzel.

den Fall eine zusätzliche Verdickung des bukkalen Weichgewebes vermieden werden konnte (► **Abb. 7**).

Die darauffolgende Extraktion erfolgte unter maximal möglicher Schonung der knöchernen Strukturen durch vertikale Extraktion mit dem Benex-Control-System (Hager & Meisinger GmbH, Neuss) (► **Abb. 8** und ► **Abb. 9**). Somit blieb die bukkale Knochenwand vollständig erhalten. Die Aufbereitung des Implantatbettes erfolgte mit dem Guided Surgery Kit (SIC-invent AG, Basel, Schweiz) (► **Abb. 10**) und den Systembohrern im 2. Schritt (► **Abb. 11**). Durch eine langsame Umdrehungszahl ohne



► Abb. 10 Primäre Aufbereitung mit dem Guided Surgery Kit.



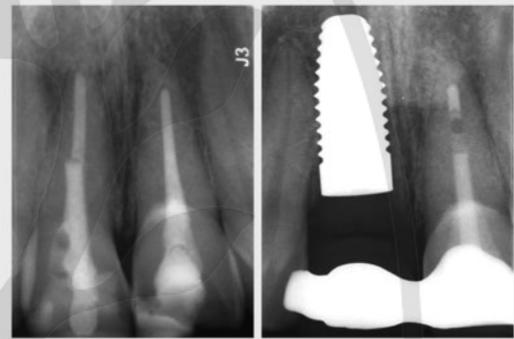
► Abb. 11 Finale Aufbereitung mit den Systembohrern.



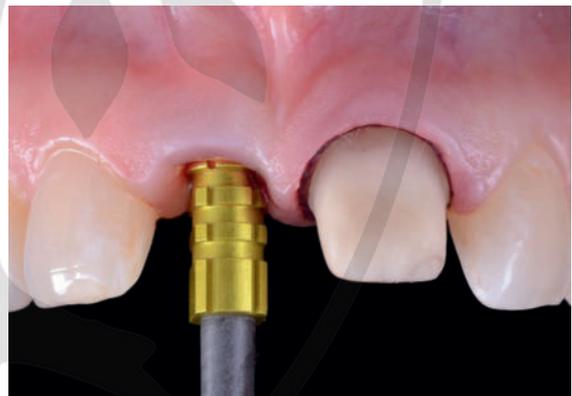
► Abb. 12 Insertion eines Zeramex XT Implantats mit 5,5 mm Durchmesser.



► Abb. 13 Klinische Situation nach Auffüllen des bukkalen Spaltes mit dem gewonnenen Knochen und eingebrachter Einheilkappe.



► Abb. 14 Zahnfilm vor und nach Insertion des Implantats.



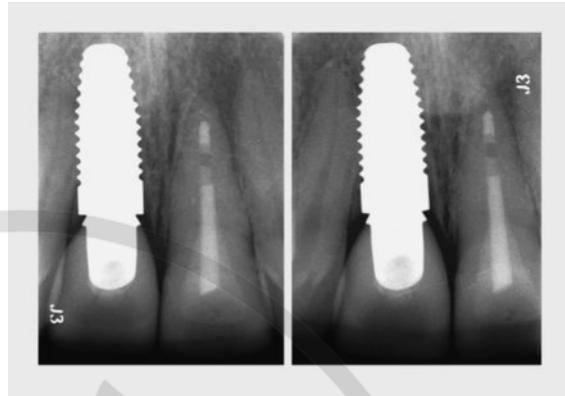
► Abb. 15 Abformung mit individuellem Löffel.

Wasserkühlung konnte eine ausreichende Menge Knochen-späne gesammelt werden, um nach Implantatinsertion den bukkalen Spalt zu füllen. Die richtige Implantatpositionierung an die palatinale Wand gelingt vorhersagbar nur durch eine stabile Navigationsschiene, da sonst

immer die Gefahr besteht, dass das Implantat nach bukkal gedrückt wird. Die Aufbereitung und Insertion (Zeramex XT, WB 5,5 mm × 12 mm, Dentalpoint AG, Spreitenbach, Schweiz) erfolgte nach Protokoll. Es ist zudem ein Gewin-deschnitt notwendig, da das Implantat nicht selbstschnei-



► **Abb. 16** Verschluss des palatinalen Schraubengangs mit Komposit.



► **Abb. 17** Röntgenkontrolle 6 Monate und 21 Monate nach Eingliederung der Kronen.



► **Abb. 18** Klinische Situation 21 Monate nach Eingliederung der Kronen.

dend ist. Es konnte eine ausreichende Primärstabilität von etwa 35 Ncm erreicht werden (► **Abb. 12**). Die Insertionstiefe muss immer manuell kontrolliert werden (► **Abb. 13**). Die bukkale Schulter wird dabei epikrestal positioniert (► **Abb. 14**). Die Gingivahöhe sollte etwa 3 mm betragen. Der unter 1 mm breite Spalt zur bukkalen Knochenwand wurde mit den gesammelten Knochen-
spänen aufgefüllt. Aufgrund der stabilen Lage des Weichgewebes wurde auf eine Naht komplett verzichtet, die keramische Klebebrücke bedingt abnehmbar mit Abstand zur eingebrachten RB-Einheilkappe wieder eingesetzt.

Vier Monate nach Implantatinsertion wurden in konventionellen Abdruckverfahren nach minimalinvasiver Präparation von 21 (► **Abb. 15**) 2 vollkeramische Kronen eingesetzt. Die Implantatkrone wurde dabei auf ein entsprechend der knöchernen Anatomie ausgewähltes Abutment (RB, platform-switched) im Labor adhäsiv verklebt und von palatinal mit 25 Ncm verschraubt. Der Schraubengang wurde mit Teflonband und Komposit verschlossen (► **Abb. 16**). 21 Monate nach Eingliederung zeigt sich ein sehr stabiles, ästhetisches und radiologisches Ergebnis (► **Abb. 17** und ► **Abb. 18**).

FAZIT

ATZ-Keramimplantate sind eine inzwischen bewährte Alternative zu Titanimplantaten hinsichtlich Osseointegration, BIC und Überlebensraten bis 5 Jahre. Durch die Zweiteiligkeit mit carbonfaser-verstärkten PEEK-Schrauben eröffnet sich ein – im Vergleich zu einteiligen Implantaten – erweitertes therapeutisches Spektrum. Hinsichtlich eines optimalen ästhetischen Ergebnisses und unerwünschten weichgewebigen Verläufen haben keramische Implantate Vorteile. Im Gegensatz zu Titan können minimalinvasiv durchmessererweiterte Sofortimplantate im Bereich der zentralen Incisivi aufgrund des vorteilhaften Weichgewebsverhaltens inseriert werden.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Autorinnen/Autoren

Pascal Marquardt
Marquardt Dentists, Köln

Korrespondenzadresse

Dr. med. dent. Pascal Marquardt
Parkstraße 21
50968 Köln
Deutschland
pm@marquardt-dentists.de

Literatur

- [1] Roehling S, Schlegel KA, Woelfler H et al. Zirconia compared to titanium dental implants in preclinical studies-A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2019; 30: 365–395. doi:10.1111/clr.13425
- [2] Jemt T. Implant survival in the edentulous jaw-30 years of experience. Part I: a retro-prospective multivariate regression analysis of overall implant failure in 4,585 consecutively treated arches. *Int J Prosthodont* 2018; 31: 425–435. doi:10.1111/ijp.5875
- [3] Derks J, Tomasi C. Peri-implant Health and Disease. A systematic review of current epidemiology. *J Clin Periodontol* 2015; 42 (Suppl 16): 158–161. doi:10.1111/jcpe.12334
- [4] Wennerberg A, Ide-Ektessabi A, Hatkamata S et al. Titanium release from implants prepared with different surface roughness. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15: 505–512. doi:10.1111/j.1600-0501.2004.01053.x
- [5] Meyer U, Bühner M, Büchter A et al. Fast element mapping of titanium wear around implants of different surface structures. *Clin Oral Implants Res* 2005; 17: 206–211. doi:10.1111/j.1600-0501.2005.01184.x
- [6] Jacobi-Gresser E, Huesker K, Schütt S. Genetic and immunological markers predict titanium implant failure: a retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013; 42: 537–543. doi:10.1016/j.ijom.2012.07.018
- [7] Daubert D, Pozhitkov A, McLean J et al. Titanium as a modifier of the peri-implant microbiome structure. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018; 20: 945–953. doi:10.1111/cid.12676
- [8] Sterner T, Schütze N, Saxler G et al. Auswirkungen von klinisch relevanten Aluminium Keramik-, Zirkonium Keramik- und Titanpartikel unterschiedlicher Größe und Konzentration auf die TNF α -Ausschüttung in einem humanen Makrophagensystem. *Biomed Tech (Berl)* 2004; 49: 340–344
- [9] Roehling S, Astasov-Frauenhoffer M, Hauser-Gerspach I et al. In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implant Surfaces. *J Periodontol* 2017; 88: 298–307. doi:10.1902/jop.2016.160245
- [10] Scarano A, Piattelli M, Caputi S et al. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: an in vivo human study. *J Periodontol* 2004; 75: 292–296. doi:10.1902/jop.2004.75.2.292
- [11] Yamano S, Ma AK, Shanti RM et al. The influence of different implant materials on human gingival fibroblast morphology, proliferation, and gene expression. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26: 1247–1255
- [12] Liñares A, Grize L, Muñoz F et al. Histological assessment of hard and soft tissues surrounding a novel ceramic implant: a pilot study in the minipig. *J Clin Periodontol* 2016; 43: 538–546. doi:10.1111/jcpe.12543
- [13] Fischer NG, Wong J, Baruth A et al. Effect of Clinically Relevant CAD/CAM Zirconia Polishing on Gingival Fibroblast Proliferation and Focal Adhesions. *Materials (Basel)* 2017; 10: 1358. doi:10.3390/ma10121358
- [14] Kubasiewicz-Ross P, Dominiak M, Gedrange T et al. Zirconium: The material of the future in modern implantology. *Adv Clin Exp Med* 2017; 26: 533–537. doi:10.17219/acem/63794
- [15] Lops D, Stellini E, Sbricoli L et al. Influence of abutment material on peri-implant soft tissues in anterior areas with thin gingival biotype: a multicentric prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28: 1263–1712. doi:10.1111/clr.12952
- [16] Linkevicius T, Vaitelis J. The effect of zirconia or titanium as abutment material on soft peri-implant tissues: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26 (Suppl 11): 139–147. doi:10.1111/clr.12631
- [17] Buser D, Chappuis V, Belsler UC et al. Implant placement post extraction in esthetic single tooth sites: when immediate, when early, when late? *Periodontol* 2000 2017; 73: 84–102. doi:10.1111/prd.12170
- [18] Cardaropoli G, Lekholm U, Wennström JL. Tissue alterations at implant-supported single-tooth replacements: a 1-year prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17: 165–171. doi:10.1111/j.1600-0501.2005.01210.x

- [19] Lim HC, Jung RE, Hämmerle CHF et al. Tissue integration of zirconia and titanium implants with and without buccal dehiscence defects. *J Periodontal Implant Sci* 2018; 48: 182–192. doi:10.5051/jpis.2018.48.3.182
- [20] Tinschert J, Natt G. Werkstoffkundliche Grundlagen. Tinschert J, Natt G, Götzen N (eds.). *Oxidkeramiken und CAD/CAM-Technologien*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2007
- [21] Chevalier J, Gremillard L, Virkar AV et al. The Tetragonal-Monoclinic Transformation in Zirconia: Lessons Learned and Future Trends. *J Am Ceram Soc* 2009; 92: 1901–1920
- [22] Tsubakino H, Sonoda K, Nozato R. Martensite transformation behaviour during isothermal ageing in partially stabilized zirconia with and without alumina addition. *J Mater Sci Lett* 1993; 12: 196–198
- [23] Kohal RJ, Wolkewitz M, Tsakona A. The effects of cyclic loading and preparation on the fracture strength of zirconium-dioxide implants: an in vitro investigation. *Clin Oral Implants Res* 2011; 22: 808–814
- [24] Andreiottelli M, Kohal RJ. Fracture strength of zirconia implants after artificial aging. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009; 11: 158–166. doi:10.1111/j.1708-8208.2008.00105.x
- [25] Spies BC, Fross A, Adolfsson E et al. Stability and aging resistance of a zirconia oral implant using a carbon fiber-reinforced screw for implant-abutment connection. *Dent Mater* 2018; 34: 1585–1595. doi:10.1016/j.dental.2018.08.290

Bibliografie

ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt 2021; 130: 428–435
DOI 10.1055/a-1547-5991
ISSN 0044-166X
© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany