

ZrO₂-Keramikimplantate

Humanhistologische Aspekte eines innovativen Implantatwerkstoffes

Seit einigen Jahren ist in der als abgeschlossen geglaubten Diskussion um den optimalen Implantatwerkstoff eine für die dentale Implantologie interessante Keramik aufgetaucht. Das in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre eingeführte prothetische Gerüstmaterial Zirkoniumdioxid (ZrO₂) hat als einziger vollkeramischer Werkstoff quasi die gleiche prothetische Indikationsbreite erreicht wie dentale Metalllegierungen.

Dr. Thomas Arzt, A. Patyk, H.-A. Merten/Bad Sobernheim

■ Verantwortlich dafür sind seine außerordentlichen, physikalischen Eigenschaften in puncto Biegefestigkeit (900–1.200 MPa) und Härte (1.200Vickers).^{12,13} Nach den positiven Erfahrungen im prothetischen Bereich lag es auf der Hand, dass dieser Werkstoff auch als Implantatmaterial in Betracht kommen wird. Die Zurückhaltung diesem Material gegenüber resultiert sicherlich größtenteils aus den Erfahrungen mit Aluminiumoxid-Keramiken in den 70er-Jahren (Frialit I, BioloX). Aluminiumoxid-Keramiken konnten sich nicht durchsetzen, da sie den Belastungen im Kausystem nicht zuverlässig standhielten.¹⁶ Zirkoniumoxid-Keramiken hingegen sind Metalllegierungen in Bezug auf physikalische Belastbarkeit zumindest ebenbürtig.^{2,3,10}

In der Implantologie hat sich Titan als Werkstoff breitflächig durchgesetzt. Dieses Material hat in unzähligen Studien bewiesen, dass es nahezu ein perfekter Implantatwerkstoff darstellt. Bruchstabilität und Osseointegrationsverhalten stehen bei korrekter Dimensionierung und Oberflächenkonditionierung von Titan-Implantaten außer Frage.^{1,4,8,9} Die Biokompatibilität von Zirkonoxid-Keramiken ist in mehreren Studien untersucht worden und wird uneingeschränkt als gegeben angesehen. Bezüglich der Oberflächenkonditionierung gibt es vielfältige Ansätze, um das Osseointegrationsverhalten von Zirkonoxidimplantaten zu optimieren.^{8,10,14,17} Im Rahmen dieses Artikels sollen ausschließlich histologische Aspekte bezüglich des Einheilverhaltens bzw. des Osseointegrationsbestrebens von ZrO₂-Keramikimplantaten diskutiert werden.

Material und Methode

In einer laufenden Studie werden ZrO₂-Implantate (Easy-Kon, General Implants, Liechtenstein) auf ihr Osseointegrationsverhalten hin untersucht (Abb. 1). Der verwendete Implantattyp ist ein einteiliges Vollschraubenimplantat mit konischem Gewindeanteil. Die Oberfläche des enossalen Anteils wurde durch ein spezielles Ätzverfahren subtraktiv bearbeitet. Der extraossäre Anteil ist ebenso konisch gestaltet. Somit können divergierende Implantatachsen präparationstechnisch kompensiert werden. Die Implantation erfolgt ausschließlich in abgeheilte Kieferkammverhältnisse. Die Einteiligkeit des Implantattyps erfordert zwangsläufig eine ausreichende, intraoperative Primärstabilität. Diese wird bei einem Eindrehmoment von mindestens 50 Ncm als gegeben angesehen. Eine strukturelle Sofortbelastung ist systembedingt unumgänglich. Jedoch werden funktionelle Einflüsse durch entsprechende Einschleifmaßnahmen am Langzeitprovisorium weitestgehend eliminiert. Das Implantatsystem bietet bei nicht erreichbarer Primärstabilität für das ZrO₂-Keramikimplantat ein konstruktiv identisches, zweiteiliges Titanimplantat (Easy-Fast, General Implants, Liechtenstein). Somit ist im Zweifel die Versorgung der Patienten auf konventionellem, implantologischen Wege (zweizeitiges Vorgehen) in der gleichen Sitzung stets gewährleistet. Im Rahmen dieser laufenden Studie konnte mit Zustimmung des Patienten ein osseointegriertes Implantat (Abb. 2). 16 Wochen nach Insertion durch Explantation einer histologischen Ex-

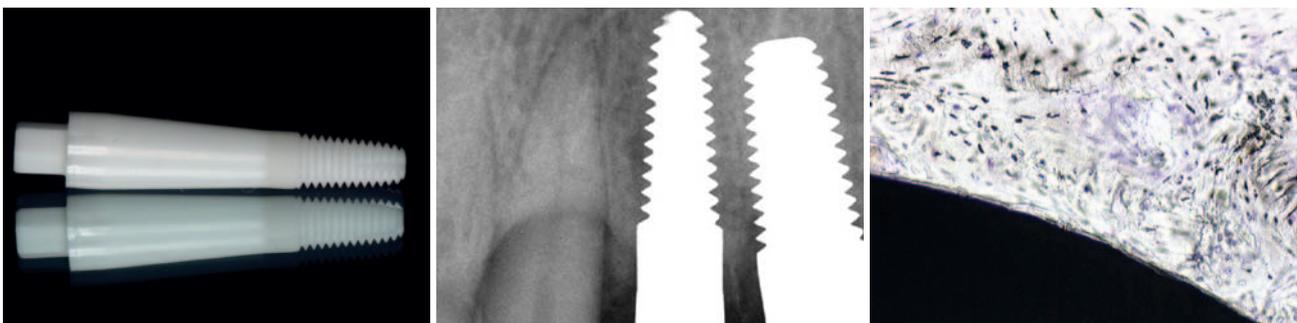


Abb. 1: Einteiliges ZrO₂-Keramikimplantat Easy-Kon (General Implants, Liechtenstein) mit oberflächenkonditioniertem enossalem Anteil, präparierbarem extra-ossären Anteil und hexagonalem Kopf für Einbringwerkzeuge. – **Abb. 2:** Regio 12 Kontrollröntgenbild 16 Wochen post implantationem, unmittelbar vor Explantation. – **Abb. 3:** Übersichtspräparat im Querschnitt. Zellarmer, kalzifizierter Lagerknochen mit lamellärem Aufbau, Osteone sind gegeneinander abgrenzbar (obere Bildhälfte), bindegewebsfreies Interface zwischen Knochen und ZrO₂-Keramikimplantat.

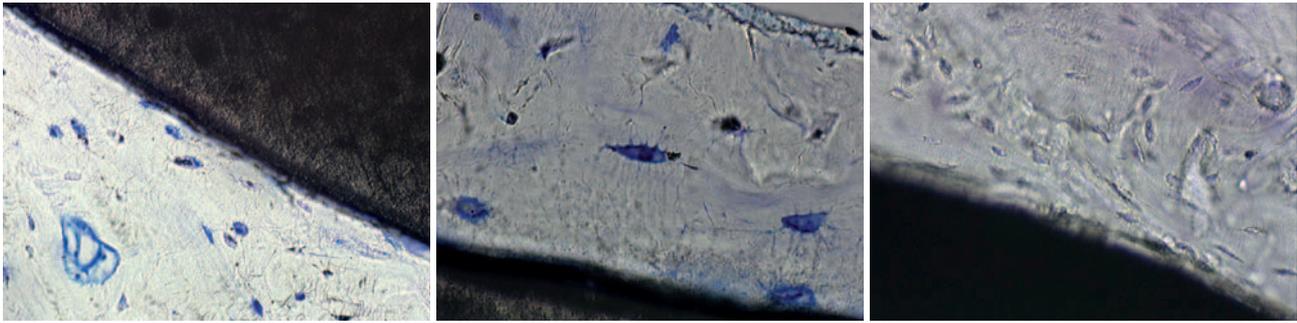


Abb. 4: Querschnittenes Blutgefäß (Haverscher Kanal). Vereinzelt, eingemauerte Osteozyten, z.T. direkt auf der Implantatoberfläche aufliegend. – **Abb. 5:** Deutlich erkennbarer lamellärer Aufbau des Lagerknochens mit radiärer Anordnung der Osteozyten. – **Abb. 6:** Vitale Osteozyten in unmittelbarer Nähe zur Implantatoberfläche, deutlich zu erkennende Zellausläufer bzw. Canaliculi mit direktem interzellulären und implantantären Kontakt.

ploration zugeführt werden. Das Implantat war nur durch Osteotomie mittels Trepanbohrer zu entfernen. Das Explantat war vollständig mit kalzifiziertem Gewebe bedeckt, soweit das klinisch beurteilbar ist. Die Fixierung des Präparates wurde mit 5%iger Formalinlösung durchgeführt. Die Aufarbeitung erfolgte durch Trenn-Dünnschliff-Technik⁶ am unentkalkten Präparat und anschließender Toluidinblau-Färbung.

Ergebnisse

Im vorliegenden Querschnittpräparat des humanen ZrO_2 -Dentalexplantats (Abb. 3) imponiert das histologische Bild einer osteoadaptierten, d.h. osseointegrierten Implantatoberfläche. Definitionsgemäß sind lichtmikroskopisch keine bindegewebige Interponate im Interface zwischen den Knochenanwachsflächen des Implantats und dem Lagerknochen erkennbar.

Die Abbildung 3 zeigt das Übersichtspräparat im Querschnitt. Zellarmer, kalzifizierter Lagerknochen mit lamellärem Aufbau, Osteone sind gegeneinander abgrenzbar (obere Bildhälfte), bindegewebsfreies Interface zwischen Knochen und ZrO_2 -Keramikimplantat. Die knöcherne Einscheidung des explantierten ZrO_2 -Keramikimplantats kann – ähnlich wie bei Titanimplantaten – als Kontaktosteogenese beschrieben werden. Inwieweit eine mit Hydroxylapatit (HA) beschichteten Dentalimplantaten korrelierende sogenannte Verbundosteogenese zwischen Lagerknochen und ZrO_2 -Keramikoberfläche vorliegt, kann anhand des vorliegenden singulären Humanexplantats nicht endgültig beantwortet werden. Hier sind weiterführende humanhistologisch relevante, tierexperimentelle Untersuchungen zwingend angezeigt (entsprechende experimentelle Forschungsaktivitäten sind zur Zeit in Vorbereitung).

Der implantatnahe Kontakt vitaler Osteozyten mit anscheinbar „direkter Kontaktaufnahme“ der osteozytären Ausläufer (Canaliculi) mit der Implantatoberfläche sind jedoch als valider histomorphologischer Hinweis auf einen verbundähnlichen, osseointegrativen Charakter des untersuchten ZrO_2 -Implantats zu interpretieren (s. Abb. 4 und 6).

Darüber hinaus zeigen Kittlinien von sekundär im periimplantären Lagerknochen im Rahmen der biomechanischen Implantatinkorporation entstandenen Oste-

one (Substitutionsosteone) ebenfalls einen direkten Kontakt zur ZrO_2 -Keramikoberfläche. Dies stellt ein von der knöchernen Einheilung von HA-Granulaten her bekanntes histologisches Erscheinungsbild dar (s. Abb. 5).

Diskussion

In den wenigen tierexperimentellen Untersuchungen wird lediglich die mit Titan vergleichbare Biokompatibilität von Zirkonoxid-Keramiken festgestellt. Tiefergehende, histologische Befundungen bezüglich des Einheilmodus konnten nicht recherchiert werden.^{2,5,10,15} Kohal et al. gibt in seiner Untersuchung an, keinen signifikanten Unterschied zwischen Titan- und Zirkonoxidoberfläche bezüglich des Knochen-Implantat-Kontakts gefunden zu haben.¹¹

Eine wissenschaftlich fundierte Evaluation des biologischen Einheilmodus und des Knochen-Implantat-Kontakts von ZrO_2 -Keramikimplantaten (Kontakt- vs. Verbundosteogenese) ist erst möglich nach Vorlage entsprechender Ergebnisse tierexperimenteller Untersuchungen. Sollte dies möglich sein, und ZrO_2 -Keramikimplantate nach den biofunktionellen Kriterien der sogenannten Verbundosteogenese knöchern inkorporiert werden, so bestünde hier jedenfalls ein bedeutender Unterschied zu den bisher gebräuchlichen Titanimplantaten. Die sich ergebenden Vorteile, wie z.B. eine nahtlose biofunktionelle knöcherne Inkorporation mit dem periimplantären Lagerknochen, mit der Konsequenz eines entsprechenden konzipierten und modifizierten Implantat-Insertions- und Belastungsprotokoll, wäre hierbei nur ein zu nennender Aspekt. Bei Titanimplantaten wird eine echte, ankylotische Implantateinheilung im lichtmikroskopischen Bild häufig nur vorgetäuscht (sog. pseudoankylotische Einheilung). Bei der hier vorliegende verbundähnlichen, osseointegrativen Paarbildung zwischen der technischen Zirkonoxid-Keramikoberfläche und dem biologischen Lagerknochen scheint eine histomorphologisch echte, ankylotische, knöcherne Inkorporation vorzuliegen. Das vorliegende histologische Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass bei Zirkonoxidimplantaten ein „bidirektionales ossäres Integrationsmuster zu beobachten ist. Im Sinne einer aktiven Osseointegration vollzieht sich die Neoossifikation im Interface hierbei bilateral, d.h. sowohl direkt auf Implantatoberfläche (ZrO_2 -Keramik) als auch auf der

Implantatbettoberfläche (Lagerknochen). Bei einer passiven, d.h. unidirektionalen Osseointegration wird in der Regel die Implantateinheilung einzig von der regenerativen Potenz des Lagerknochens abhängig sein.

Darüber hinaus ist unter mittel- bis langfristigen Aspekten die vergleichsweise geringe Plaque-Akkumulationsrate von ZrO₂-Keramik-implantaten zu bewerten. Da horizontale und vertikale Knochenresorptionen zu den Hauptursachen des Implantatverlusts zählen, könnte man erwarten, dass sich durch die Kombination von Verbundosteogenese und minimaler Periimplantitisneigung eine weitaus bessere Langzeitprognose von ZrO₂-Keramikimplantate ergibt. ■

Literatur

- 1 Adell R. et al.: A long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J oral Maxillofac Implants* 1990;5:347.
- 2 Akagawa Y. et al.: Comparison between freestanding and tooth-connected partially stabilized zirconia implants after two years function in monkeys. *J Prosthet Dent* 1988; 80:551.
- 3 Akagawa Y. et al.: Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing. *J. Prosthet Dent* 1993;69:599.
- 4 Albrektsson T et al.: Osseointegrated implants. A Swedish multicenter study of 8139 consecutively inserted Nobelpharma implants. *J Periodontol* 1988;59:287.
- 5 Albrektsson T. et al.: Interface analysis of titanium and zirconium bone implants. *Biomaterials* 1985;6:97.
- 6 Donath K. et al.: A method for the study of undecalcified bones and teeth with attached soft tissues. The Säge-Schliff (sawing and grinding) technique. *J Oral Pathol* 1982;11:318.
- 7 Dubruillé J.H. Et al.: Evaluation of combination of titanium, zirconia and alumina implants with 2 bone fillers in the dog. *Int J oral Maxillofac Implants* 1999;14:271.
- 8 Hao L et al.: Osteoblast cell adhesion on a laser modified zirconia based bioceramic. *J Mater Sci Mater Med* 2005; 16:719.
- 9 Henry P.J. Et al.: Osseointegrated implants for single-tooth replacement: A prospective 5-year multicenter study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:450.
- 10 Ichikawa Y. et al.: Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J Prosthet Dent* 1992;68:322.
- 11 Kohal R.J. et al.: Zironoxid-Implantate unter Belastung. Eine vergleichende, histologische, tierexperimentelle Untersuchung. *Z Zahnärztl Impl* 2003; 19:88.
- 12 Marx R.: Moderne keramische Werkstoffe für ästhetische Restaurationen – Verstärkung und Bruchzähigkeit. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:229.
- 13 Piconi C. et al.: Y-TZP ceramics for artificial joint replacements. *Biomaterials* 1998;19:1489.
- 14 Pesskova V et al.: The influence of implant surface properties on cell adhesion and proliferation. *J Mater Sci Mater Med* 2007;18:465.
- 15 Sa MJ et al.: In vivo behaviour of zirconia-hydroxyapatite (ZH) ceramics implants in dogs: A clinical, radiological and histological study. *Biomater Appl* 2006;18.
- 16 Schulte W.: The intra-osseous Al₂O₃ (Frialit) Tuebingen Implant. Developmental status after 8 years (I-III). *Quintessence Int* 1984;15:1.
- 17 Sennerby L et al.: Bone tissue responses to surface-modified zirconia implants: A histomorphometric and removal torque study in the rabbit. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7:13.

■ KONTAKT

Dr. Thomas Arzt
 Neugasse 26
 55566 Bad Sobernheim
 E-Mail: ta@dr-thomas-arzt.de