Michael Gahlert, Stefan Röhling

Einteilige Keramikimplantate aus Zirkonoxid Ein alternatives Versorgungskonzept zu Titanimplantaten



INDIZES

Keramikimplantate, Zirkonoxidimplantate, Titanimplantate, Osseointegration, Überlebensraten, Periimplantitis

ZUSAMMENFASSUNG

Zwanzig Jahre nach Einführung von Keramikimplantaten aus Zirkonoxid zeigt die Auswertung von wissenschaftlichen Daten einen technischen Evolutionsprozess auf, der diesen Medizinprodukten einen Stellenwert als Alternative zu Titanimplantaten verschafft hat. Insbesondere die Entwicklung der mikrorauen Implantatoberflächen und die verlässliche Osseointegration waren für diese Entwicklung ausschlaggebend. Darüber hinaus konnte durch optimierte Herstellungsverfahren die Frakturanfälligkeit von Zirkonoxidimplantaten dahingehend reduziert werden, dass dieser Faktor kein Hinderungsgrund für die klinische Anwendung sein muss. Problematisch in diesem Zusammenhang ist aber ein noch immer uneinheitlicher Produktionsstandard der Industrie. Klinische Daten aus retrospektiven und prospektiven Studien über einen Zeitraum von bis zu 5 Jahren belegen für Zirkonoxidimplantate eine Erfolgs- und Überlebensrate von über 95 % und erlauben die klinische Anwendung in unterschiedlichen Indikationen. Ob im Vergleich zu Titanimplantaten Keramikimplantate tatsächlich eine geringere Neigung für die Ausbildung von periimplantären Infektionen haben, lässt sich evidenzbasiert momentan nur schwer beantworten. Die bisherigen Daten sind jedoch sehr vielversprechend.

Manuskripteingang: 18.01.2022, Annahme: 30.01.2022

Einleitung

Keramikimplantate aus Zirkoniumdioxid (ZrO₂) haben in den letzten 20 Jahren für rege Diskussionen gesorgt. Das lag daran, dass Keramikimplantate früherer Dekaden, wie beispielsweise aus Aluminiumoxid, die Erwartungen, wie man sie von Titanimplantaten kannte, nicht erfüllen konnten. Keramikimplantate aus Aluminiumoxid wurden zwar wissenschaftlich ausgiebig untersucht und auch über mehrere Jahrzehnte hinweg bis Anfang der 1990iger Jahre klinisch verwendet,

jedoch konnten sich diese Implantate vor allem wegen der mangelnden biomechanischen Stabilität nicht dauerhaft auf dem Markt etablieren^{1–3}.

Diesem Umstand war auch geschuldet, dass sich die internationale Forschung in den letzten Jahrzehnten im Schwerpunkt auf Titanimplantate und deren Gewebeintegrität fokussierte, sodass lange Zeit der Eindruck entstand, dass Keramikimplantate klinisch keine Relevanz mehr hätten. Erst die Entwicklung der Hochleistungskeramik Zirkonoxid änderte diese Tatsache, da hiermit nun auch Keramikimplantate hergestellt

werden können, die biomechanisch stabil sind und den Kaukräften der Mundhöhle standhalten können³⁻⁵. So war der Start von Keramikimplantaten aus ZrO2 von Vorurteilen und ungenügenden wissenschaftlichen Daten geprägt. Nach 20 Jahren wissenschaftlicher Forschung und klinischer Anwendung auf dem Gebiet der keramischen Implantologie scheint es wiederrum Kommunikationsdefizite bei der breiten Mehrheit der Zahnärzte zu geben, dass sich Keramikimplantate der neuen Generation in multipler Hinsicht einen beachtenswerten Stellenwert neben Titanimplantaten gesichert haben. Neben der Optimierung der Herstellungsverfahren und der Oberflächentopografie war ein wichtiger Faktor für die Etablierung von Keramikimplantaten auf dem Markt sicherlich auch die Entwicklung von 2-teiligen Implantatdesigns. Dadurch konnten die allgemein anerkannten Behandlungsrichtlinien und Konzepte einfacher auf das neue Material übertragen werden, da sich das 2-teilige "Titanimplantatkonzept" weltweit bewährt hat. Jedoch gibt es bislang nur wenige Studien, die 2-teilige Keramikimplantate aus Zirkonoxid wissenschaftlich untersuchen. Die Datenlage zu 1-teiligen Keramikimplantaten ist deutlich besser: Evidenzbasierte Daten und Konsensusstatements wissenschaftlicher Gesellschaften zeigen, dass 1-teilige Keramikimplantate aus ZrO2 durchaus Alternativen zu Titanimplantaten darstellen.

Materialstabilität und Frakturen

Keramikimplantaten haftet immer noch das Image der Materialinstabilität bei Kaubelastung an. Das mag damit zusammenhängen, dass Keramikimplantate früherer Generationen zu Frakturen neigten und diese Werkstoffe immer mit Titanimplantaten verglichen wurden. Ursächlich hierfür war, dass frühere industrielle Herstellungsverfahren nicht auf die Materialeigenschaften von Zirkonoxid angepasst waren: Unkontrollierte Produktionsverfahren, insbesondere im Hinblick auf die Technologien zur Erzeugung von mikrorauen Oberflächentopografien, konnten die Bruchfestigkeit von Zirkonoxidim-

plantaten erniedrigen⁶. In einem gemeinsamen Projekt mit Prof. Dr. Susanne Scherrer von der Universität Genf hat die Forschungsgruppe der Autoren dieser Arbeit frakturierte Zirkonoxidimplantate der "ersten Generation" untersucht. Diese Implantate wurden Anfang der 2000er Jahre noch durch unkontrollierte Produktionsverfahren hergestellt und bereits im Jahr 2004 wieder vom Markt genommen. Dabei konnte bei den gebrochenen Implantaten gezeigt werden, dass durch den industriellen Sandstrahlungsprozess zur Schaffung der mikrorauen Oberfläche Mikrorisse entstanden sind, die später, während der funktionellen Belastung, Ursprung für die Fraktur waren (Abb. 1).

Heutige Keramikimplantate aus ZrO₂ haben deutlich bessere physikalische Festigkeitswerte verglichen mit den Materialeigenschaften von Dentalkeramiken früherer Generationen und halten Kaukräften langfristig stand^{3–5}. Zum einen sind diese verbesserten biomechanischen Eigenschaften auf die Zusammensetzung der Oxidkeramik zurückzuführen. Zum anderen wurden die industriellen Herstellungsverfahren optimiert und auf die Materialeigenschaften von Zirkonoxid angepasst.

Aufgrund der speziellen Gefügestruktur von ZrO₂ sollte allerdings nicht unkritisch an Keramikimplantaten geschliffen werden, da es zu einer Phasenumwandlung und dadurch zu Mikrorissen an der Oberflächentopografie kommen kann, die wiederum das Material durch Wassereinlagerung schwächen könnten. In diesem Zusammenhang ist die sogenannte Phasentransformation von klassischem Zirkonoxid mit 3 Mol-% Yttriumoxidanteil von Bedeutung. Dabei kommt es zum Übergang einer bruchsicheren tetragonalen Phase in eine bruchanfälligere monokline Phase⁷. Diese Umwandlung ist mit einer Volumenexpansion verbunden und kann die Ausbreitung von mechanisch bedingten Mikrorissen im Materialgefüge stoppen. Man spricht hierbei auch vom sogenannten "Fracture toughening"-Mechanismus⁷. Durch unkontrolliertes Beschleifen kann diese Phasentransformation schon frühzeitig ausgelöst werden und fehlt später eventuell bei der Kompensation von herstellungsbedingten Gefügefehlern der Materialstruktur.

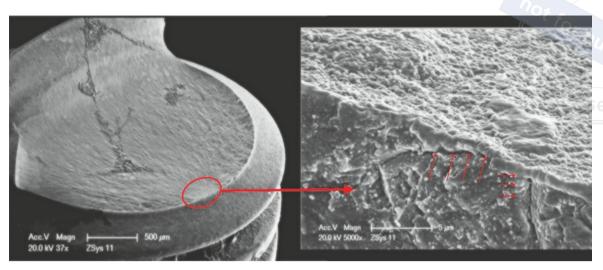


Abb. 1 Frakturiertes ZrO₂-Implantat der ersten Generation, rasterelektronenmikroskopische Aufnahme mit Mikroriss an der Oberfläche.

Durch die beschriebenen Weiterentwicklungen konnten die klinischen Frakturraten von Zirkonoxidimplantaten deutlich reduziert werden. Einer Metaanalyse zufolge sank die Frakturrate von Keramikimplantaten aus ZrO2 zwischen 2004 und 2017 von 3,4 % auf 0,2 %. Sie entspricht damit dem Wert bei vergleichbaren Titanimplantaten8. Hersteller lassen zur Sicherheit im Rahmen von Qualitätskontrollen sogenannte "Proof Tests" durchführen, die die hergestellten keramischen Implantate nach ihrem Produktionsverfahren auf ihre Stabilität hin überprüfen. Aufgrund der Vielzahl von angebotenen Keramikimplantaten unterschiedlicher Marken könnte dies als empfohlenes Qualitätsmerkmal angesehen werden und die Entscheidung der Auswahl erleichtern.

Gewebeintegrität

Keramikimplantaten haftet bis heute auch ein weiteres Vorurteil der unsicheren Osseointegration an. Für die Ausbildung einer funktionell erfolgreichen Osseointegration ist neben Faktoren wie beispielsweise Implantatmaterial, Knochenqualität und Operationstechnik vor allem die Beschaffenheit der Implantatoberfläche selbst entscheidend⁹. Daher war für dieses Vorurteil die anfänglich eher glatte Topografie der Implantatoberfläche verantwortlich. Die ungenügende Mikrorauigkeit der Oberflächentopografie der osseointegrierten Keramikimplantate aus ZrO₂ der ersten Genera-

tion war mit schlechteren klinischen Erfolgsraten verbunden als bei vergleichbaren Titanimplantaten^{10,11}. Die sogenannte Sekundärstabilität in der frühen Einheilphase wurde nicht so sicher erreicht. Die betroffenen Keramikimplantate waren dann selbst nach 5-6 Wochen Einheilphase leicht beweglich und deshalb für eine prothetische Weiterversorgung nicht zu gebrauchen, sodass sie wieder entfernt werden mussten. Diese klinische Beobachtung war in den meisten Fällen nicht mit entzündlichen Veränderungen wie Knochenverlust, Sekretaustritt oder Schmerzen assoziiert, sodass manche Autoren dieses Phänomen als "Aseptic loosening" bezeichneten¹². Mit der Weiterentwicklung von Keramikimplantaten aus ZrO2 wurde der Fokus auf die Mikrorauigkeit der Oberflächenstruktur in der industriellen Produktionsphase gesetzt. Vergleichende Untersuchungen mit mikrorauen Oberflächen von Titanimplantaten zeigten dann, dass Keramikimplantate vergleichbar gut wie Titanimplantate osseointegrierten. Eine vergleichbare Mikrorauigkeit von ZrO2 und Titan war hierfür Voraussetzung^{13,14}.

Durch die Erzeugung von mikrorauen Oberflächen kann nicht nur eine sichere Osseointegration erreicht werden, es können dadurch auch Knochenaugmentationen bei Keramikimplantaten vorhersagbar durchgeführt werden. In einer experimentellen Tierstudie wurden im direkten Vergleich von Keramikimplantaten und Titanimplantaten identische Ergebnisse bezüglich der Dimension und der Menge des Knochens, der im Rahmen der Augmentation gebildet wurde, ermittelt¹⁵. Klinische Daten liegen aus einer Metaanalyse vor, die zu dem Ergebnis kam, dass gleichzeitig mit der Implantation durchgeführte Augmentationen keinen signifikanten Einfluss auf die berichteten Überlebensraten von Keramikimplantaten nach 2 Jahren funktioneller Belastung hatten⁸.

Da es jedoch keine einheitlichen Produktionsstandards bei der Herstellung von Keramikimplantaten gibt und deshalb bei der Auswahl der Produkte die Frage im Raum steht, ob die entsprechenden Keramikimplantate über eine ausreichend mikroraue Oberflächentopografie für eine sichere Osseointegration verfügen, ist es wichtig, auf positive Auswertungen wissenschaftlicher Studien zu achten, die dem jeweiligen Medizinprodukt zugrunde liegen sollten. Einteilige Keramikimplantate können nach der akuten operativen Phase mit hohlgelegten Provisorien oder angepassten Bruxerschienen vor Fehl- oder Frühbelastung geschützt werden, um eine Störung der Osseointegration zu vermeiden. Eine provisorische Sofortbelastung von 1-teiligen Keramikimplantaten unterliegt den gleichen Prinzipien wie bei Titanimplantaten und sollte vor allem den Wert des Eindrehtorques der Implantate beachten, der mindestens 30-35 Ncm betragen sollte. In diesem Zusammenhang konnte in einem systematischen Review nachgewiesen werden, dass Sofortbelastungen keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebensraten von Keramikimplantaten hatten8.

Periimplantitis

Die periimplantäre Entzündung um dentale Implantate gehört zu den pathologischen Veränderungen, die zum Verlust von dentalen Implantaten führen können. Die chronische und nicht reversible Entzündungsreaktion kommt nach statistischen Untersuchungen von Derks et al. nach 9 Jahren klinischer Belastung bei Titanimplantaten in 14,5 % aller nachuntersuchten Patienten vor¹⁶. Keramikimplantate aus ZrO₂ zeigten in bakteriologischen Untersuchungen weniger Plaqueaffinität als vergleichbare Titanimplantate und werden

daher klinisch als biokompatibler eingestuft^{17,18}. Fretwurst et al. kamen in einer kürzlich publizierten Untersuchung zu dem Ergebnis, dass entzündetes periimplantäres Gewebe bei Titan- und Keramikimplantaten Ähnlichkeiten aufweist und die periimplantären Läsionen vom individuellen Immunstatus des betroffenen Patienten abhängen und nicht vom verwendeten Material¹⁹. Röhling et al. konnte wiederum in einer tierexperimentellen Studie zeigen, dass Keramikimplantate im direkten Vergleich zu Titanimplantaten bei künstlich induzierter Periimplantitis signifikant weniger Knochenabbau zeigen als Titanimplantate²⁰. Die Studiengruppe der Autoren dieser Arbeit in München kam in verschiedenen retrospektiven und prospektiven Langzeitauswertungen zu dem klinischen Ergebnis, dass periimplantäre Infektionen um Keramikimplantate seltener als bei vergleichbaren Titanimplantaten vorkommen. Eine retrospektive Untersuchung über einen Untersuchungszeitraum von bis zu 7 Jahren bei 125 Implantaten zeigte in keinem Fall periimplantäre Entzündungen im Sinne einer klassischen Periimplantitis¹⁰. Eine weitere interne retrospektive Nachuntersuchung der Studiengruppe der Autoren dieser Arbeit im Rahmen einer Promotionsarbeit über die Auswertung von 10-Jahresdaten 1-teiliger Keramikimplantate der ersten Generation bei 102 nachuntersuchten Implantaten in 44 Patienten bestätigte die Beobachtung der völligen Absenz von periimplantären Veränderungen in Form akuter oder chronischer entzündlicher Erscheinungen mit den dazugehörigen Knochenläsionen²¹. Die Frage der Zukunft wird demnach vor allem die Inzidenz von Periimplantitis bei Keramikimplantaten aus ZrO2 sein und ob diese Materialgruppe im Vergleich zu etablierten Titanimplantaten im Langzeitresultat nicht besser abschneidet.

Klinische Daten zu 1-teiligen Keramikimplantaten und Langzeitresultate

Die Studienlage bei wissenschaftlichen Langzeituntersuchungen zu 1-teiligen Keramikimplantaten ist aufgrund einer Vielzahl von Publikationen zu diesem Thema wesentlich besser geworden. Einige retrospektive und prospektive Auswertungen beziehen sich nunmehr nicht nur auf 1- oder 3-Jahresdaten, sondern haben 5- und 10-Jahresdaten im Fokus²². Die Problematik besteht jedoch in der Unterschiedlichkeit der einzelnen Produkte. die, wie oben beschrieben, unterschiedliche Evolutionsstufen der Oberflächentopografie aufweisen oder kommerziell zwischenzeitlich nicht mehr verfügbar sind. Auch wurden Medizinprodukte im Rahmen von Designweiterentwicklungen kontinuierlich verändert, sodass Vergleichsmöglichkeiten eingeschränkt sind. Dabei ist wichtig zu berücksichtigen, dass auch Publikationen der letzten Jahre Ergebnisse von ZrO2-Implantaten berichten, die mittlerweile weiterentwickelt wurden und nicht mehr kommerziell erhältlich sind. Diese Tatsache wird umso relevanter, da in einer Metaanalyse gezeigt werden konnte, dass die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften und die aktuelle Marktverfügbarkeit von ZrO2-Implantaten einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensraten haben, da sich die Überlebensraten dieser Implantate zwischen 2004 und 2017 signifikant verbessert haben und dadurch der Faktor der aktuellen Marktverfügbarkeit einen entscheidenden Faktor bei der Beurteilung der klinischen Daten hat⁸. In einer systematischen Literaturübersicht beurteilten die Autoren alle klinischen Studien, die ZrO2-Implantate über einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten bei mindestens 10 behandelten Patienten nachuntersuchten. Dabei wurden Studien evaluiert, die zwischen Januar 2004 und März 2017 veröffentlich worden waren. Die Metaanalyse konnte eine signifikant höhere Überlebensrate nach 1 Jahr für kommerziell erhältliche ZrO₂-Implantate (98,3 %) im Vergleich zu den ZrO2-Implantaten nachweisen, die zwar wissenschaftlich untersucht worden waren, jedoch nicht mehr kommerziell auf dem Markt verfügbar waren (91,2 %). Interessant ist, dass die Unterschiede bezüglich des marginalen periimplantären Knochenverlustes nach 1 Jahr zwischen beiden Untersuchungsgruppen nicht statistisch signifikant waren (kommerziell erhältlich: 0,7 mm; kommerziell nicht erhältlich: 1,0 mm). Darüber hinaus konnte für die kommerziell erhältlichen Implantate eine 2-Jahres-Überlebensrate von 97,2 % errechnet werden. Eine Analyse der Daten konnte zwar zeigen, dass das Implantatdesign - 1-teilig gegenüber 2-teilig keinen signifikanten Einfluss auf die berichteten Überlebensraten hatte. Berücksichtigt werden sollte dabei aber, dass die Studienlage zu 1-teiligen Implantatsystemen (14 Studien, Nachuntersuchungszeiträume 12,0-71,3 Monate) deutlich besser ist als die Studienlage zu 2-teiligen Systemen (3 Studien, Nachuntersuchungszeiträume 19,32-30 Monate)8. In diesem Zusammenhang muss ergänzt werden, dass nicht alle momentan auf dem Markt verfügbaren ZrO2-Implantate wissenschaftlich untersucht wurden. Ein weiterer Metareview beurteilte alle systematischen Übersichtsarbeiten zu ZrO2-Implantaten bis Dezember 2018. Die Autoren kamen ebenfalls zu der Schlussfolgerung, dass die Datenlage zu 1-teiligen im Vergleich zu den 2-teilgen Systemen besser ist und die bisher verfügbaren klinischen Daten vergleichbare Ergebnisse zeigen wie bei Titanimplantaten²³.

Nur wenige Hersteller haben ihre Medizinprodukte kontinuierlich ohne Veränderungen von Anfang an in der klinischen Bewährungsphase untersuchen lassen und können damit wissenschaftliche Daten liefern.

Auch wenn klinische Daten aus Übersichtsarbeiten momentan noch auf eine Nachuntersuchungsdauer von 2 Jahren beschränkt sind, gibt es einzelne Studien, die 1-teilige Keramikimplanate über einen längeren Zeitraum untersuchen. Eine von Balmer et al. veröffentlichte Langzeituntersuchung über 5 Jahre bei 63 Keramikimplantaten in 53 Patienten gab eine Überlebensrate von 98,4 % bei einer durchschnittlichen Knochenresorptionsrate von 0,7 mm an²⁴.

Eine gerade abgeschlossene prospektive Multicenter-Langzeitstudie über 5 Jahre klinischer Belastung 1-teiliger Keramikimplantate der Arbeitsgruppe der Autoren dieser Arbeit, die sich augenblicklich in der Begutachtung befindet, konnte diese Ergebnisse in Hinsicht auf die Erfolgsund Überlebensrate bestätigen²⁵.

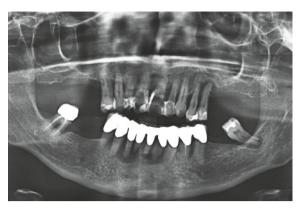


Abb. 2 Fall 1: Röntgenologische Ausgangssituation, Oktober 2012.



Abb. 3 Nach parodontalchirurgischer Sanierung und multipler Zahnentfernung werden augmentatitve Maßnahmen und 1-teilige Keramikimplantate geplant.



Abb. 4 Okklusalansicht im Unterkiefer kurz vor Abschluss der segmentweisen prothetischen Versorgung.



Abb. 5 Nach abgeschlossener implantologischer und segmentweiser prothetischer Unterkiefersanierung wurde der Oberkiefer implantologisch mit 1-teiligen Keramikimplantaten versorgt.

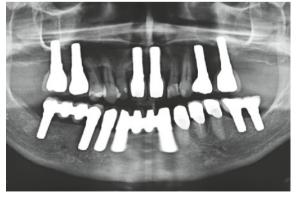


Abb. 6 Abgeschlossene parodontale, implantologische und prothetische Rehabilitation, Juli 2014.

Klinische Fallbeispiele

Nicht selten wird hinterfragt, ob denn überhaupt Keramikimplantate notwendig seien, weil alle klinischen Indikationen mit Titanimplantaten abgedeckt werden können. Das wirft zum einen die Frage der konkreten Indikation für Keramikimplantate auf, zum anderen die Frage, warum bestimmte Menschen konkret mit dem Wunsch nach einer Alternative für Titanimplantate in die Praxis kommen.

Anhand von 4 klinischen Fällen soll die klinische Indikation von Keramikimplantaten aus ZrO_2 dargestellt werden.

1. Fall

Eine 54-jährige Patientin kam mit einer unbehandelten Parodontitis in unsere Praxis. Sie klagte seit langer Zeit über regelmäßiges Zahnfleischbluten, Zahnverlust durch Zahnlockerung und Mundgeruch. Die klinische und röntgenologische Untersuchung ergab die Diagnose einer nicht behandelten, generalisierten Parodontitis mit multiplen nicht erhaltungswürdigen Zähnen und zum Teil starkem Knochenverlust im Ober- und Unterkiefer. Die Patientin wurde über das komplexe Krankheitsbild der Parodontitis aufgeklärt und es fand zunächst eine vorsichtige subgingivale Kürettage statt. Folgend wurden Provisorien für die nicht erhaltungswürdigen Zähne angefertigt und das Gebiss wurde Zahngruppe für Zahngruppe parodontalchirurgisch saniert3. Monate nach der Entfernung der infausten Zähne wurde der Knochenstatus reevaluiert, um Implantate zu planen. Die Reevaluation ergab die Notwendigkeit eines Knochenaufbaus im Oberkieferseitenzahnbereich. Die parodontal angeschlagenen, aber noch erhaltungswürdigen Zähne waren zu diesem Zeitpunkt entzündungsfrei und fest geworden. Nach der abgeschlossenen augmentativen Rehabilitationsphase im Oberkiefer wurde die Patientin mit 1-teiligen Keramikimplantaten versorgt - in dem Sinne, dass die präimplantologische Planung auf eine segmentweise prothetische Versorgung abzielte. Nach 3-monatiger Osseointegration, bei welcher in den ersten 4 Wochen sehr sorgsam auf weiche Nahrungsaufnahme geachtet wurde, konnten alle Implantate erfolgreich prothetisch versorgt werden.

Dieser Fall zeigt den Einsatz von Keramikimplantaten in einer vermutlich immunologisch kompromittierten Mundhöhle mit einem hoch biokompatiblen und inerten Medizinprodukt, welches nachweislich über eine geringere Plaqueaffinität verfügt als vergleichbare Titanimplantate. Subgingivale Mikrospalten und Mikrobewegungen sind durch die Einteiligkeit und das Tissue-Level-Design nicht vorhanden, was einen günstigen Langzeiteffekt auf die parodontale und implantologische Gesamtversorgung hat (Abb. 2 bis 6).

2. Fall

Ein 61-jähriger Patient wurde von einer zuweisenden Kollegin mit der Bitte um chirurgische Entfernung des endodontisch nicht versorgbaren Zahns 21 überwiesen. Nach vorheriger Anfertigung eines chirurgischen Ästhetikprovisoriums mit innenliegenden Klammern wurde der Zahn 21 operativ entfernt. Sechs Wochen nach der Zahnextraktion wurde ein 1-teiliges Keramikimplantat im Zuge einer verspäteten Sofortimplantation mit gleichzeitigen Augmentationsmaßnahmen durchgeführt. Dazu wurde ein autologes Knochen-



Abb. 7 Fall 2: Klinische Ausgangssituation mit nicht erhaltungswürdigem Zahn 21.



Abb. 8 Obliterierter Zahn 21 mit apikaler Beherdung, Röntgenaufnahme vom Juli 2012.

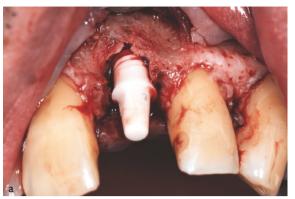




Abb. 9a und b a) Operationssitus nach Implantation Regio 21 mit defizitärem periimplantärem Knochen, b) Operationssitus nach gleichzeitiger Augmentation mit autologem Knochen, Fixierung durch zwei Osteosyntheseschrauben und Auffüllung mit Knochenspänen.



Abb. 10 Prothetische Lösung mit zementierter Vollkeramikkrone, Keramikimplantat 21.



Abb. 11 10-Jahres-Röntgenkontrolle des Implantats 21, Januar 2022.

transplantat aus der Crista zygomatico maxillaris linksseits mit dazugehörigen Knochenspänen entfernt und in das Augmentationslager Regio 11 verlagert. Nach 3 Monaten wurde im Zuge der Freilegung des Keramikimplantats zuerst ein direktes Provisorium zur Gestaltung der roten Ästhetik angefertigt. Zwei Wochen später wurde die finale Abformung durchgeführt und eine Vollkeramikkrone angefertigt. Diese Rehabilitation im ästhetisch hoch sensiblen Bereich spiegelt die sehr guten Rekonstruktionsmöglichkeiten der periimplantären Gingiva und des zu augmentierenden Knochens bei 1-teiligen Keramikimplantaten wider (Abb. 7 bis 11).

3. Fall

Ein 43-Jahre alter Patient klagte über immer wiederkehrende Beschwerden an seinen Titanimplantaten Regio 25 und 26. Mehrere Behandlungsversuche unterschiedlicher Kollegen und Kolleginnen, die Periimplantitis an 25 und 26 unter Kontrolle zu bekommen, liefen fehl. Dem Patienten wurden intermittierend über Wochen immer wieder Antibiotika verschrieben. Die Implantate wurden in unserer Praxis sofort operativ entfernt. Nach einer Ausheilungszeit von 8 Wochen wurde das Kieferareal mit einem kleinen Beckenkammspan und Spongiosa in horizontaler und vertikaler Richtung wieder rekonstruiert. Nach weiteren 3 Monaten war es explizit der Wunsch des Patienten, nicht



Abb. 12 Fall 3: Das Röntgenbild vom September 2014 zeigt einen starken vertikalen Knochenabbau an den Implantaten 25 und 26.



Abb. 13 Röntgenbild vor der Kieferrekonstruktion.



Abb. 14 Röntgenbild 3 Monate nach vertikaler und horizontaler Augmentation.



Abb. 15 Röntgenbild 6 Jahre nach implantologischer und prothetischer Rehabilitation mit zwei 1-teiligen Keramikimplantaten, Juni 2021.



Abb. 16 Stabile und entzündungsfreie klinische Verhältnisse an den Implantaten 25 und 26 nach 6 Jahren klinischer Belastungsphase, Juni 2021.

mehr mit Titanimplantaten versorgt zu werden. Es wurden zwei 1-teilige Keramikimplantate inseriert, die wiederum nach 3 Monaten Einheilungszeit mit zwei Vollkeramik-Einzelkronen versorgt wurden (Abb. 12 bis 16).

4. Fall

Einteilige Keramikimplantate werden von vielen Implantologen als prothetisch unflexibel versorgbar angesehen – gerade dann, wenn die Implantate nicht achsengerecht inseriert werden können. Die in Fall 1 beschriebene segmentweise Versorgung einer teilbezahnten Situation kann beim zahnlosen und atrophierten Kiefer schwierig sein. Zweiteilige Keramikimplantate haben daher größere prothe-

tische Flexibilität, wenn beispielsweise eine Teleskoparbeit geplant werden soll. Der vorliegende Fall zeigt die Versorgung eines sonst zahnlosen Unterkiefers mit einem noch vorhandenen Zahn 44, den der Patient als Propiozeptor behalten wollte. Vier 2-teilige Keramikimplantate wurden dazugefügt und dann nach entsprechender 3-monatiger Einheilungssphase mit einer Galvanoteleskoparbeit versorgt. Es wurde eine optische Abformung mit Scanbodys und einem Intraoralscanner durchgeführt. Die generierten Daten wurden zur Weiterverarbeitung in das zahntechnische Labor gesendet, wo im digitalen Workflow Primärteleskope, Sekundärteleskope und Gerüst hergestellt werden konnten. Die prothetische Versorgung zeigt höchste Präzision und einen optimalen Sitz (Abb. 17 bis 24).



Abb. 17 Fall 4: Klinischer Situs nach Osseointegration der 2-teiligen Keramikimplantate vor der prothetischen Versorgung, März 2018.



Abb. 18 Mit den Implantaten verschraubte Scanbodys.



Abb. 19 Klinischer Situs vor Verklebung mit dem Gerüst: Mit den Implantaten verschraubte Primärteleskope aus ZrO_2 , eine der vier Galvanokappen als Sekundärteleskop aufgesteckt.



Abb. 20 Gerüstverklebung im Mund des Patienten.



Abb. 21a und b Fertiggestellte Unterkieferprothesenbrücke.



Konsensusstatements

Für die erfolgreiche Etablierung von Keramikimplantaten auf dem Markt ist es unbedingt erforderlich, dass sich nationale und internationale Fachgesellschaften mit diesem Thema beschäftigen. Nur durch die seriöse und wissenschaftliche Aufbereitung dieses Themas und die Erarbeitung von allgemein anerkannten Behandlungsrichtlinien kann sich die Glaubwürdigkeit und Verläss-



Abb. 22 Klinischer Situs der fertigen Arbeit.



Abb. 23 Röntgenkontrolle nach abgeschlossener implantologischer und prothetischer Versorgung, September 2018.

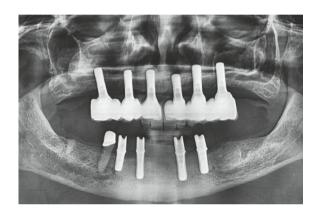


Abb. 24 Röntgenkontrolle, Januar 2022: Erkennbar ist eine zwischenzeitliche Oberkieferversorgung ebenfalls mit 2-teiligen Keramikimplantaten.

lichkeit von Keramikimplantaten dauerhaft durchsetzen. Ein wichtiger Schritt dabei war es, dass sich das "Internationale Team for Implantology" (ITI) 2018 erstmals diesem Thema gewidmet und eine Empfehlung für 1-teilige Keramikimplantate aus ZrO2 unter Hinweis auf eine im Vergleich zu Titanimplantaten lückenhafte Datenlage formuliert hat. Die Konsensusstatements wurden publiziert und gelten seitdem als Anwendungsempfehlung für Kliniker²⁶. Die Deutsche Gesellschaft für Implantologie (DGI) nahm sich auf ihrer letzten Leitlinienkonferenz 2021 ebenfalls erstmalig des Themas an und formulierte eine Anwendungsempfehlung für 1- und neu auch 2-teilige Keramikimplantate. Die finale Fassung steht derzeit noch aus. Bei der Entwicklung der Leitlinie stand die lückenhafte Datenlage im Vordergrund der regen Diskussion, die auch die notwendigen wissenschaftlichen Grundlagen bei der Auswahl

der unterschiedlichen Implantatsysteme thematisierte. Jedoch wurde dabei deutlich, dass die Anwendung von 1-teiligen Keramikimplantaten keineswegs mehr eine "experimentelle" Behandlungsform ist, sondern über einen mittelfristigen Beobachtungszeitraum als eine seriöse, vorhersagbare und evidenzbasierte Behandlungsalternative zu Titanimplantaten angesehen werden kann.

Fazit

Aufgrund von optimierten Herstellungsverfahren und der Durchführung von Qualitätskontrollen können 1- und 2-teilige ZrO₂-Implantate mit mikrorauer Oberfläche hergestellt werden, die klinisch verlässlich angewendet werden können. Moderne ZrO₂-Implantate zeigen eine verläss-

liche Hart- und Weichgewebeintegration sowie hohe klinische Überlebensraten. Als problematisch stellen sich uneinheitliche Produktionsstandards der Industrie sowie fehlende verpflichtende Qualitätskontrollen während und nach dem Produktionsverfahren dar. So wird eine Vielzahl von Medizinprodukten angeboten, die in Hinsicht auf Oberflächengestaltung und Langzeitstabilität Fragen aufwerfen, da speziell für einige Produkte keine oder zu wenige wissenschaftliche Untersuchungsdaten vorliegen. Daher sollten ausschließlich Keramikimplantate empfohlen werden, die mit positiven Auswertungen aus wissenschaftlich anerkannten präklinischen und klinischen Untersuchungen besetzt sind.

Literatur

- Zetterqvist L, Anneroth G, Nordenram A. Tissue integration of Al2O3-ceramic dental implants: an experimental study in monkeys. Int J Oral Maxillofac Implants 1991;6:285–293.
- 2. De Wijs FL, Van Dongen RC, De Lange GL, De Putter C. Front tooth replacement with Tubingen (Frialit) implants. Journal of oral rehabilitation 1994;21:11–26.
- Andreiotelli M, Wenz HJ, Kohal RJ. Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. Clin Oral Implants Res 2009;20(Suppl 4): 32–47.
- Roehling S, Gahlert M. Keramische Zahnimplantate wissenschaftliche Grundlagen und klinsiche Anwendung. Zahnmedizin up2date 2015;5:425–444.
- Roehling S, Gahlert M. Ein- und zweiteilige Keramikmplantate aus Zirkonoxid – die Behandlungsalternative zu Titan. Quintessenz 2017;68:1423–1428.
- Gahlert M, Burtscher D, Grunert I, Kniha H, Steinhauser E. Failure analysis of fractured dental zirconia implants. Clin Oral Implants Res 2012;23:287–293.
- Röhling S, Gahlert M. Keramische Zahnimplantate Wissenschaftliche Grundlagen und klinische Anwendung. Zahnmedizin up2date 2015;9:425–444.
- Roehling S, Schlegel KA, Woelfler H, Gahlert M. Performance and outcome of zirconia dental implants in clinical studies: A meta-analysis. Clin Oral Implants Res 2018;29(Suppl 16):135–153.
- Albrektsson T, Branemark PI, Hansson HA, Lindstrom J. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. Acta Orthop Scand 1981;52:155–170.
- Roehling S, Woelfler H, Hicklin S, Kniha H, Gahlert M. A Retrospective Clinical Study with Regard to Survival and Success Rates of Zirconia Implants up to and after 7 Years of Loading. Clin Implant Dent Relat Res 2016;18: 545–558.

- 11. Gahlert M, Gudehus T, Eichhorn S, Steinhauser E, Kniha H, Erhardt W. Biomechanical and histomorphometric comparison between zirconia implants with varying surface textures and a titanium implant in the maxilla of miniature pigs. Clin Oral Implants Res 2007;18:662–668.
- Cionca N, Muller N, Mombelli A. Two-piece zirconia implants supporting all-ceramic crowns: a prospective clinical study. Clin Oral Implants Res 2015;26:413–418.
- Bormann KH, Gellrich NC, Kniha H, Dard M, Wieland M, Gahlert M. Biomechanical evaluation of a microstructured zirconia implant by a removal torque comparison with a standard Ti-SLA implant. Clin Oral Implants Res 2012;23:1210–1216.
- Roehling S, Schlegel KA, Woelfler H, Gahlert M. Zirconia compared to titanium dental implants in preclinical studies-A systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res 2019;30:365–395.
- 15. Benic GI, Thoma DS, Jung RE, Sanz-Martin I, Unger S, Cantalapiedra A et al. Guided bone regeneration with particulate vs. block xenogenic bone substitutes: a pilot cone beam computed tomographic investigation. Clin Oral Implants Res 2017;28:e262–e270.
- 16. Schaller D, Derks J. Periimplantitis: Definition, Falldefinitionen und Diagnostik. Parodontologie 2017;28:173–177.
- 17. Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: an in vivo human study. J Periodontol 2004;75:292–296.
- Roehling S, Astasov-Frauenhoffer M, Hauser-Gerspach I, Braissant O, Woelfler H, Waltimo T et al. In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implant Surfaces. J Periodontol 2017;88:298–307.
- Fretwurst T, Müller J, Larsson L, Bronsert P, Hazard D, Castilho RM et al. Immunohistological composition of peri-implantitis affected tissue around ceramic implants-A pilot study. J Periodontol 2021;92:571–579.
- Roehling S, Gahlert M, Janner S, Meng B, Woelfler H, Cochran DL. Ligature-Induced Peri-implant Bone Loss Around Loaded Zirconia and Titanium Implants. Int J Oral Maxillofac Implants 2019;34:357–365.
- 21. Fiege L. Retrospektive klinische Nachuntersuchung von einteiligen Keramikimplantaten aus Zirkoniumdioxid über einen mittleren Belastungszeitraum von bis und nach 10 Jahren. Dissertation. Universität Basel, 2021.
- Pieralli S, Kohal RJ, Jung RE, Vach K, Spies BC. Clinical Outcomes of Zirconia Dental Implants: A Systematic Review. J Dent Res 2017;96:38–46.
- Afrashtehfar KI, Del Fabbro M. Clinical performance of zirconia implants: A meta-review. J Prosthet Dent 2020;123:419–426.
- 24. Balmer M, Spies BC, Kohal RJ, Hämmerle CH, Vach K, Jung RE. Zirconia implants restored with single crowns or fixed dental prostheses: 5-year results of a prospective cohort investigation. Clin Oral Implants Res 2020;31: 452–462.
- 25. Gahlert M, Kniha H, Schild S, Gellrich NC, Bormann K. A prospective clinical study to evaluate the 5-year performance of zirconia implants in single tooth gaps in the maxilla and mandible. Int J Oral Maxillofac Implants 2022. [Review in process].
- Morton D, Gallucci G, Lin WS, Polido W, Roehling S, Sailer I et al. Group 2 ITI Consensus Report: Prosthodontics and implant dentistry. Clin Oral Implants Res 2018;29(Suppl 16):215–223.

One-piece zirconia ceramic implants An alternative restoration concept to titanium implants

KEY WORDS

ceramic implants, zirconia implants, titanium implants, osseointegration, implant survival, peri-implantitis

ABSTRACT

Twenty years after zirconia was established as an implant material on the market, zirconia implants have become a reliable alternative to titanium implants. This fact was mainly influenced by the development of microrough zirconia implant surfaces showing a high osseointegrative capacity. In addition, the evolution of industrial techniques like optimized manufacturing processes has reduced the fracture rate of zirconia implants, allowing a reliable clinical application. However, regarding the available zirconia implant systems on the market, there are no uniform and consistent standards or quality controls for the manufacturing processes. Results from retrospective and prospective clinical studies for investigation periods up to and after 5 years of loading have reported survival and success rates of more than 95%. Consequently, zirconia implants can reliably be used in various clinical indications. Regarding infections around zirconia implants, results from preclinical and clinical studies are promising. However, based on the available scientific data so far, it remains unclear if zirconia implants show a reduced tendency for the formation of peri-implant infections compared with titanium implants in the long term.



Michael Gahlert

Michael Gahlert

Prof. Dr. med. dent. Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Hightech-Forschungszentrum des Universitätsspitals Basel Spitalstr. 21 4031 Basel Schweiz

und Gastprofesur an der Sigmund Freud Privatuniversität Wien Freudplatz 1 1020 Wien, Österreich

Stefan Röhling

PD Dr. med. dent.

Beide:

Oralchirurgie T1 Gahlert & Röhling Theatinerstr. 1 80333 München

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Michael Gahlert, E-Mail: mg@oralchirurgie-t1.de