

Biomechanische Charakterisierung von Zahnimplantaten mit schmalem Durchmesser

Donald Responte, PhD, Senior Test-Ingenieur, Zimmer Biomet

Einführung

Implantate mit schmalen Durchmesser (narrow diameter implants, NDIs) wurden für die Insertion in Stellen entwickelt, in denen das Setzen von Implantaten mit größerem Durchmesser aufgrund anatomischer Einschränkungen nicht möglich ist. Durchmesserreduzierte Implantate können beispielsweise in Regionen mit engen Zahnlücken, zwischen konvergierende Zahnwurzeln oder in Situationen mit schmalen Kieferkamm gesetzt werden. Außerdem können Implantate mit schmalen Durchmesser zum Ersatz kleiner Zähne wie etwa der seitlichen Schneidezähne im Ober- und Unterkiefer verwendet werden. Aufgrund der anterioren Platzierung von NDIs sind auch ästhetische Überlegungen entscheidend für das Design von schmalen Implantaten.

Es wurden verschiedene Studien durchgeführt, um die Effektivität von durchmesserreduzierten Implantaten zu beurteilen. Zum Beispiel zeigte eine Evaluierung von 316 NDIs, die über einen Zeitraum von 10 Jahren verfolgt wurden, eine kumulative Implantat-Überlebensrate von 92,3 % ohne eine einzige Implantatfraktur.¹ Eine andere, ähnliche Studie untersuchte 510 Implantate mit Durchmessern von 3,0 bis 3,5 mm aus mehreren Implantatsystemen.² Nur drei der Implantate gingen verloren, was einer Überlebensrate von 99,4 % entspricht. Allgemein haben diese Langzeitstudien gezeigt, dass schmale Implantate die gleichen Überlebensraten wie Implantate mit breiterem Durchmesser aufweisen können, so dass sie eine erfolgversprechende Behandlungsoption für Situationen sein können, in denen Implantate mit großem Durchmesser kontraindiziert sind.

Trotz vielversprechender Resultate haben NDIs verschiedene potenzielle Nachteile, die ihre Verwendung einschränken könnten. Insbesondere biomechanische Risikofaktoren müssen vor der klinischen Verwendung von NDIs sorgfältig analysiert werden.³ Studien haben gezeigt, dass Implantate mit kleineren Durchmessern schlechtere mechanische Eigenschaften besitzen,⁴ weshalb eine Ermüdungstestung für NDIs ratsam ist, um das Frakturrisiko in der klinischen Praxis zu reduzieren. Darüber hinaus zeigte eine mathematische Simulation von Lastverteilungen um Implantate, dass der Implantatdurchmesser einen größeren Einfluss auf die Mechanik hat als die Implantatlänge.⁵ Sowohl theoretische als auch experimentelle Studien legen nahe, dass für NDIs eine gründliche mechanische Charakterisierung durchgeführt werden sollte.

Eine weitere entscheidende Überlegung ist die Primärstabilität, die als wichtiger Faktor für die Erleichterung der Osseointegration von Zahnimplantaten gilt.⁶ Da NDIs kleinere Oberflächen als Implantate mit größerem Durchmesser haben, könnte der verringerte Kontakt mit Knochen die Primärstabilität möglicherweise reduzieren. Für Fälle, in denen gewöhnlich eine geringe Knochendichte vorherrscht, wurden zur Erlangung einer Primärstabilität Implantate mit einem breiteren Durchmesser empfohlen.⁷ Um sicherzustellen, dass NDIs über eine ausreichende Primärstabilität verfügen, können Tests wie die Testung des Insertionsdrehmoment durchgeführt werden. Darüber hinaus kann ein mechanischer Torsionstest zeigen, ob NDIs über ausreichende Festigkeit verfügen, um dem Insertionsdrehmoment standzuhalten. Diese Tests können zusammen mit Daten aus Ermüdungstests das Risiko eines mechanischen Versagens bei klinischen Anwendungen reduzieren.

Zur Charakterisierung der Biomechanik von Implantaten mit schmalen Durchmesser wurden folgende Implantate untersucht: Zimmer Biomet Eztec[®] 3,1 x 13 mm L, Astra Tech OsseoSpeed[™] EV 3,0 x 13 mm L, BioHorizons[®] Laser-Lok[®] 3,0 x 12 mm L und Nobel Biocare NobelActive[®] 3,0 x 13 mm L. Das Ziel der Studie war die Beurteilung von Insertionsdrehmoment, Torsions-Streckgrenze und Ermüdungseigenschaften jedes Implantats.

Methoden

Ermüdung

Die Proben wurden in Dycal-Zement (Dentsply, Milford, DE, USA) eingebettet. Die Abutments wurden mit den zugehörigen Implantaten verbunden und dann auf die in der jeweiligen Gebrauchsanweisung angegebenen Drehmomentwerte angezogen. Dann wurden Testkappen an die Abutments geklebt, um sicherzustellen, dass alle Implantatsysteme ähnlichen Lastverteilungen ausgesetzt wurden. Die Ermüdungstestung wurde gemäß ISO 14801 bei einer Temperatur von 20 °C ± 5 °C durchgeführt. Die Belastungen wurden mit 14 Hz appliziert und variierten zwischen einer Spitzenbelastung und 10 % der Spitzenlast. Gemäß ISO 14801 wurde jedes Implantat über 5 Millionen Zyklen getestet, was die funktionelle Belastung von Zahnimplantaten simulieren soll. Es wurden Ermüdungskurven erstellt, um den Dauerbelastungsgrenzwert für jedes Implantatsystem zu berechnen.

Insertionsdrehmoment

Künstliches Knochensubstrat (Sawbones, Vashon Island, WA, USA) mit einer 3 mm dicken Kortikalisschicht (Dichte 50 pcf, 0,8 g/cm³) und einem Kern mit der Dichte 30 pcf (0,48 g/cm³) wurde ausgewählt, um dichten Knochen zu simulieren. Dieses Substrat wurde in Teststücke von ca. 2 x 2 x 2 cm geschnitten. Basierend auf dem Bohrprotokoll für dichten Knochen des jeweiligen Herstellers wurde eine passende Osteotomie in jedem Stück des künstlichen Knochensubstrats geschaffen. Die Implantatschraubendreher und die Stücke aus künstlichem Knochensubstrat wurden in individuell gestalteten Haltevorrichtungen fixiert. Nach dem Ausrichten des Implantats in der Osteotomie wurde ein Bionix Elektromechanisches Torsionssystem (MTS, Eden Prairie, MN) verwendet, um das Implantat mit 8 U/Min. einzudrehen, bis es bündig mit der Oberfläche des Knochensubstrats war. Es wurden 5 Implantate von jedem Hersteller getestet. Die maximalen Insertionsdrehmomentwerte für jedes Implantat wurden mit dem Bionix-System aufgezeichnet.

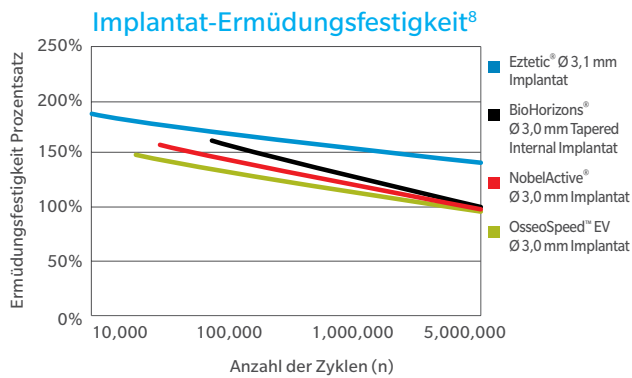
Torsions-Streckgrenze

Die Implantate wurden in 3M Scotch-Weld Epoxy (3M, St. Paul, Minneapolis, USA) eingebettet, und das Material konnte 48 Stunden aushärten. Es wurden Haltevorrichtungen konstruiert, um die eingebetteten Implantate und die zugehörigen Implantatschraubendreher zu fixieren. Nach dem Ausrichten des Schraubendrehers nach dem eingebetteten Implantat wurde ein Bionix Elektromechanisches Torsionssystem (MTS, Eden Prairie, MN) verwendet, um das Implantat mit seinem zugehörigen Schraubendreher mit 10 Grad/Min. einzudrehen, bis die Verbindung zwischen Implantat und Schraubendreher versagte. Drehmoment versus Rotationskurven wurden für jede Probe aufgezeichnet und gemäß ISO 13498 analysiert, um die Streckgrenze für jede Probe zu berechnen.

Resultate

Ermüdung

Gemäß ISO 14801 wurden Ermüdungskurven für alle Implantattypen durch Testung bei 14 Hz für 5 Millionen Zyklen erstellt, was die funktionelle Belastung eines Zahnimplantats simuliert. Alle Implantatsysteme hatten äquivalente Dauerbelastungsgrenzwerte, mit Ausnahme von Zimmer Biomet, das einen Dauerbelastungsgrenzwert zeigte, der um 43 % höher war als der der Implantate von Astra Tech, Nobel und BioHorizons (Abbildung 1). Die Implantate von Nobel, Astra Tech und BioHorizons wiesen Fälle mit Versagen des Implantats und der Schraube auf. Zimmer Biomet Implantate zeigten Versagen von Schraube und Implantat auf Einbettungshöhe.⁸

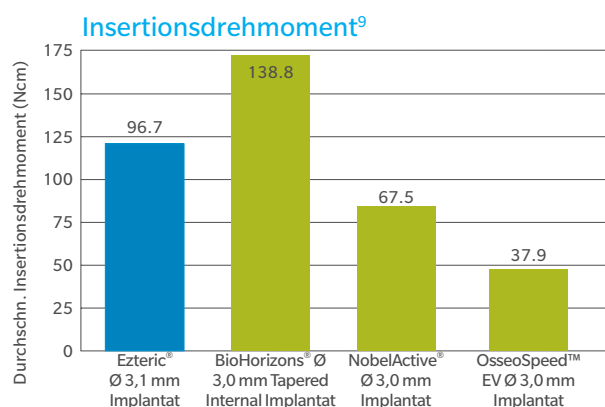


Alle Produkte wurden in Schritten von jeweils 5 lb getestet.

Abbildung 1: Dauerbelastungsgrenzwerte für schmale Implantate (n = 11). Die gemäß ISO 14801 durchgeführte Ermüdungstestung zeigte, dass nach 5 Millionen Zyklen Zimmer Biomet einen Dauerbelastungsgrenzwert hatte, der um 43 % höher war als der der Implantate von Astra Tech, Nobel und BioHorizons.

Insertionsdrehmoment

Die Spitzen-Insertionsdrehmomentwerte wurden während der Insertion der Implantate in künstliches Knochensubstrat aufgezeichnet. Für jede Implantatmarke wurde das durchschnittliche Insertionsdrehmoment berechnet. Alle Implantate waren vollständig eingesetzt und zeigten keine Ausfälle.⁹ Die Insertionsdrehmomentwerte betragen 96,7 ± 4,1, 138,8 ± 4,9, 67,5 ± 6,1 und 37,9 ± 1,6 Ncm für Zimmer Biomet, BioHorizons, Nobel bzw. Astra Tech (Abbildung 2).⁹ Die Insertionsdrehmomentwerte für die Zimmer Biomet Implantate waren 43 % höher bzw. 154 % höher als die der Implantate von Astra Tech bzw. Nobel.⁹



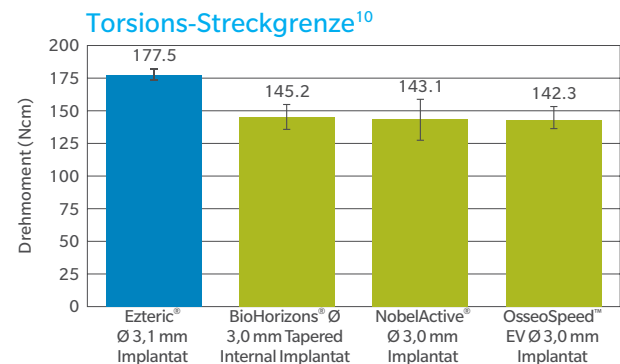
Technischer Labortest unter Verwendung eines dichten Knochensubstrats.⁹

Abbildung 2: Durchschnittliches Insertionsdrehmoment für schmale Implantate (n = 5). Die Testung des Insertionsdrehmoments in künstliches Knochensubstrat zeigte, dass Zimmer Biomet Implantate einen um 43 % bzw. 154 % höheren Wert hatten als die Implantate von Astra Tech bzw. Nobel. Die Daten sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben.

Torsions-Streckgrenze

Die Drehmomenttestung wurde durchgeführt, bis das Implantat und/oder der Schraubendreher versagten. Die Resultate wurden anhand der Streckgrenze quantifiziert, die gemäß ISO 13498 berechnet wurde. Die Torsions-Streckgrenzwerte betragen 177,5 ± 4,9, 145,2 ± 10,5, 143,1 ± 17,4 und 142,3 ± 7,1 Ncm für Zimmer Biomet, BioHorizons, Nobel bzw. Astra Tech (Abbildung 3).¹⁰ Die Streckgrenze für das Zimmer Biomet Implantat war 24 %, 23 % bzw. 22 % höher als die von Astra Tech, Nobel bzw. BioHorizons.¹⁰

Sowohl Nobel als auch Astra Tech versagten an der Verbindung zwischen Implantat und Schraubendreher.¹⁰ Zimmer Biomet Implantate versagten auf Einbettungsniveau und BioHorizons Implantate an der Wand der Verbindung.¹⁰



Technischer Labortest, bei dem die Implantate und ihre jeweiligen Schraubendreher verwendet wurden.¹⁷

Abbildung 3: Torsions-Streckgrenzwerte für Implantate mit kleinem Durchmesser (n = 6). Die gemäß ISO 13498 durchgeführte Testung der Verbindungsfestigkeit zeigte, dass Zimmer Biomet Implantate Streckgrenzwerte hatte, die um 24 %, 23 % bzw. 22 % höher waren als die der Implantate von BioHorizons, Nobel bzw. Astra Tech. Die Daten sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben.

Diskussion

Das Ziel der Studie war die Beurteilung von Insertionsdrehmoment, Torsions-Streckgrenze und Ermüdungseigenschaften von NDIs von Zimmer Biomet, Astra Tech, BioHorizons und Nobel. Die Daten zeigten, dass Zimmer Biomet Implantate die höchsten Ermüdungs-Dauerbelastungsgrenzwerte und die höchste Torsions-Streckgrenze aufwiesen. Außerdem hatten Zimmer Biomet Implantate höhere Insertionsdrehmomentwerte als Implantate von Nobel und Astra Tech.

Ermüdungstests sind für die Beurteilung der Wirksamkeit eines Implantatdesigns, insbesondere für NDIs, entscheidend³. Studien zu Lastverteilungen weisen darauf hin, dass schmale Durchmesser die Last, die auf das Implantat einwirkt, erhöhen.^{11,12} Diese erhöhte Last könnte das Risiko für Ermüdung erhöhen,¹³ was die Bedeutung von Ermüdungsfestigkeit für NDIs hervorhebt. In dieser Studie zeigten die Ermüdungstestdaten, dass das Zimmer Biomet Implantat eine größere Ermüdungsfestigkeit hatte als die Implantate von Astra Tech, Nobel und BioHorizons. Diese Resultate deuten darauf hin, dass sein Design es dem Zimmer Biomet Implantat ermöglicht, den bei der Ermüdungstestung applizierten Belastungen standzuhalten, was die Wahrscheinlichkeit einer Komponentenfraktur senkt. Deutlich bessere Ermüdungseigenschaften sind besonders wichtig für NDIs, da Studien gezeigt haben, dass kleinere Implantatdurchmesser die Ermüdungsfestigkeit von Zahnimplantaten reduzieren können.¹⁴

Die Ergebnisse des Torsionstests zeigten, dass das Zimmer Biomet Implantat die höchste Streckgrenze besaß. Die höhere Streckgrenze des Zimmer Biomet Implantats könnte durch Unterschiede beim Design des Implantats und/oder Schraubendrehers erklärt werden, die es der Implantat-Schraubendreher-Kombination ermöglichten, größeren Belastungen standzuhalten, bis sie nachgab. Da eine höhere Torsions-Streckgrenze die

Wahrscheinlichkeit eines Versagens während irgendwelchen abnorm hohen Drehmomentapplikationen verringern könnte, sind höhere Streckgrenzenresultate vorzuziehen. Außerdem sollte die Streckgrenze deutlich höher als das entsprechende Insertionsdrehmoment sein, um die Gefahr eines Versagens während der Insertion zu reduzieren.

Die Insertionsdrehmoment-Daten ergänzten die Resultate der Ermüdungstests durch das Aufzeigen möglicher Unterschiede bei der Primärstabilität der Implantate. Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass die Implantate von Astra Tech und Nobel eine geringere Primärstabilität als die Zimmer Biomet Implantate haben könnten. Niedrige Insertionsdrehmomentwerte, die eine geringere Primärstabilität anzeigen, können auf ein erhöhtes Risiko eines Implantatmisserfolgs hinweisen.¹⁵ Niedrigere Insertionsdrehmomentresultate könnten wichtige Konsequenzen haben, insbesondere in anterioren Regionen, in denen die Ästhetik ein Thema ist, weil die Primärstabilität eine wichtige Rolle bei der Entscheidung spielt, ob ein Implantat sofort provisorisch versorgt oder belastet werden kann.¹⁶ Ein hohes Insertionsdrehmoment, das sich der Torsions-Streckgrenze nähert, könnte jedoch nachteilig sein, da es möglicherweise die Gefahr eines Versagens während der Insertion erhöht. Das BioHorizons-Insertionsdrehmoment betrug 95,5 % der Streckgrenze, während das Zimmer Biomet Insertionsdrehmoment nur 54,5 % der Streckgrenze betrug. Das hohe Insertionsdrehmoment der Zimmer Biomet Implantate, das sich nicht der Streckgrenze näherte, zeigt ein reduziertes Risiko eines Implantatversagens während der Insertion und eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Erreichen der Primärstabilität an.

Verschiedene Faktoren könnten zu den besseren mechanischen Eigenschaften beitragen, die bei den Zimmer Biomet Implantaten beobachtet wurden. Die Geometrie und seine

präzise maschinelle Bearbeitung machen es möglicherweise widerstandsfähiger gegen Versagen und erhöhen seine Ermüdungsfestigkeit. Dadurch, dass es das Implantat in die Lage versetzt, Belastungen effektiver zu tragen, könnte das Design der Double-Friction-Fit-Verbindung ebenfalls zu der hohen mechanischen Integrität des Zimmer Biomet Implantats beitragen. Außerdem besteht das Zimmer Biomet Implantat aus einer Titanlegierung, die stabiler ist als handelsübliche Reintitan-Materialien, die auch bei zahnmedizinischen Anwendungen zum Einsatz kommen.¹⁷ Diese Designfaktoren könnten eine Rolle bei den hohen Werten von Ermüdungsfestigkeit, Torsions-Streckgrenze und Insertionsdrehmoment spielen, die das Zimmer Biomet Implantat aufweist.

Schlussfolgerungen

Die biomechanische Charakterisierung ist entscheidend für die Beurteilung von NDIs, da kleinere Implantatdurchmesser zu verringerter mechanischer Integrität führen können³. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass Zimmer Biomet Implantate einen höheren Ermüdungs-Dauerbelastungsgrenzwert und eine höhere Torsions-Streckgrenze hatten als Implantate von Astra Tech, BioHorizons und Nobel. Außerdem hatten Zimmer Biomet Implantate höhere Insertionsdrehmomentwerte als Implantate von Nobel und Astra Tech. Insgesamt deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass das Zimmer Biomet Implantat eine bessere Primärstabilität, Torsionsfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdung hat als die anderen Implantate mit schmalen Durchmesser.

1. Arsan V, Bolukbasi N, Ersanli S, Ozdemir T. (2010). Evaluation of 316 narrow diameter implants followed for 5-10 years: a clinical and radiographic retrospective study. Clin Oral Implants Res. 21(3), 296-307.
2. Degidi M, Piattelli A, Carinci F. (2008). Clinical outcome of narrow diameter implants: a retrospective study of 510 implants. J Periodontol. 79(1), 49-54.
3. Davarpanah M, Martinez H, Tecucianu J-F, Celletti R, Lazzara R. (2000). Small-diameter implants: indications and contraindications. J Esthet Dent. 12(4), 186-194.
4. Allum SR, Tomlinson RA, Joshi R. (2008). The impact of loads on standard diameter, small diameter and mini implants: a comparative laboratory study. Clin Oral Implants Res. 19(6), 553-9.
5. Himmlöva, L, Dostalova, T, Kacovsky, A, Konvickova, S. (2004). Influence of implant length and diameter on stress distribution: a finite element analysis. J Prosthet Dent. 91(1), 20-5.
6. Kohn, DH. (1992). Overview of factors important in implant design. J Oral Implantol. 18(3), 204-19.
7. Langer B, Langer L, Herrmann I, Jorneus, L. (1993). The wide fixture: a solution for special bone situations and a rescue for the compromised implant. Int J Oral Maxillofac Implants. 8(4), 400-8.
8. Daten liegen vor.
9. Daten liegen vor.
10. Daten liegen vor.
11. Petrie, CS, Williams, JL. (2005). Comparative evaluation of implant designs: influence of diameter, length, and taper on strains in the alveolar crest. A three-dimensional finite-element analysis. Clinical Oral Implants Research. 16, 486-494.
12. Qian, L, Todo, M, Matsushita, Y, Koyano, K. (2009). Effects of implant diameter, insertion depth, and loading angle on stress/strain fields in implant/jawbone systems: finite element analysis. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 24, 877-886.
13. Quek, CE, Tan, KB, Nicholls, JI. (2006). Load fatigue performance of a singletooth implant abutment system: effect of diameter. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 21, 929-936.
14. Boggan, RS, Strong, JT, Misch, CE, Bidez, MW. (1999). Influence of hex geometry and prosthetic table width on static and fatigue strength of dental implants. J Prosthet Dent. 82(4), 436-40.
15. Sakoh J, Wahlmann U, Stender E, Nat R, Al-Nawas B, Wagner W. (2006). Primary stability of a conical implant and a hybrid, cylindrical screw-type implant in vitro. Int J Oral Maxillofac Implants. 21(4), 560-6.
16. Gapski R, Wang HL, Mascarenhas P, Lang NP. (2003). Critical review of immediate implant loading. Clin Oral Implants Res. 14, 515-527.
17. Elias, CN, Lima, JHC, Valiev, R., Meyers, MA (2008). Biomedical applications of titanium and its alloys. Jom. 60(3), 46-49.

Kontaktieren Sie uns unter zb.bestellung@zimmerbiomet.com oder besuchen Sie uns unter www.zimmerbiometdental.de

Zimmer Biomet Dental
Global Headquarters
4555 Riverside Drive
Palm Beach Gardens, FL 33410, USA
Tel: +1-561-776-6700
Fax: +1-561-776-1272

Zimmer Dental Deutschland GmbH
Wilhelm-Wagenfeld-Str. 28
D-80807 München
Tel: +49-(0)800-101-64-20
Fax: +49-(0)800-313-11-11

Zimmer Dental GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Grossmarktstrasse 7a
A-1230 Wien
Tel: +43-(0)8000-700-17
Fax: +43-(0)8000-700-18

Biomet 3i Schweiz GmbH
Grüzefeldstrasse 41
CH-8404 Winterthur
Tel: +41-(0)800-24-66-38
Fax: +41-(0)800-24-66-39

Soweit nicht anders angegeben, sind sämtliche der hier erwähnten Handelsmarken Eigentum von Zimmer Biomet; alle Produkte werden von einer oder mehreren der Dental-Tochtergesellschaften von Zimmer Biomet Holdings, Inc. hergestellt und von Zimmer Biomet Dental und seinen zugelassenen Handelspartnern vermarktet und vertrieben. OsseoSpeed ist eine Marke von Dentsply. BioHorizons und Laser-Loks sind eingetragene Marken der Evollution IP Holdings, Inc. NobelActive ist eine eingetragene Marke der Nobel Biocare Gruppe. Andere in diesem Dokument verwendete Marken und Produktnamen von Drittanbietern sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber. Weitere Produktinformationen sind den jeweiligen Produktetiketten oder Gebrauchsanweisungen zu entnehmen. Die Produktzulassung und -verfügbarkeit kann auf bestimmte Länder/Regionen beschränkt sein. Diese Unterlagen wurden nur für Zahnärzte erstellt und stellen keinen medizinischen Rat oder medizinische Empfehlungen dar. Die Weitergabe an beliebige andere Empfänger ist untersagt. Dieses Material darf ohne ausdrückliches schriftliches Einverständnis von Zimmer Biomet Dental nicht vervielfältigt oder nachgedruckt werden.

