

Ultraschallgestützte Implantatbettpräparation mit Piezosurgery: Eine Multicenter-Fallserie an 3579 Implantaten mit einem Follow-up von einem bis drei Jahren



Tomaso Vercellotti, MD, DDS¹/Claudio Stacchi, DDS, MSc²
Crescenzo Russo, DDS³/Alberto Rebaudi, MD, DDS⁴
Giampaolo Vincenzi, MD, DDS⁵/Umberto Pratella, DDS, PhD⁶
Domenico Baldi, MD, DDS⁴/Marco Mozzati, MD, DDS³
Chiara Monagheddu, MD⁷/Rosario Sentineri, MD, DDS⁴
Tommaso Cuneo, DDS⁸/Luca Di Alberti, DDS, PhD, MSc⁹
Stefano Carossa, MD, DDS¹⁰/Gianmario Schierano, MD, DDS¹¹

Im Rahmen dieser Multicenter-Fallserie wird eine neuartige Präparationstechnik (UISP) für Implantate vorgestellt, bei der Ultraschallinstrumente als Alternative zu den herkömmlichen Rotationsinstrumenten verwendet werden. Bei 1885 Patienten wurden insgesamt 3579 Implantate gesetzt und die Implantatpräparation jeweils mit einem spezifischen Ultraschallinstrument vorgenommen. Die Nachbeobachtungszeit betrug ein bis drei Jahre. Es traten keine Operationskomplikationen durch das UISP-Protokoll auf. Innerhalb von fünf Monaten nach der Implantation gab es 78 Implantatmisserfolge (Oberkiefer: 59, Unterkiefer: 19). Damit ergibt sich eine Gesamtrate für die Osseointegration von 97,82 % (Oberkiefer: 97,14 %, Unterkiefer: 98,75 %). Da drei Oberkieferimplantate nach dreijähriger Belastung versagten, lag die Gesamt-Implantatüberlebensrate bei 97,74 % (Oberkiefer: 96,99 %, Unterkiefer: 98,75 %). (Int J Par Rest Zahnheilkd 2014; 34: 11–18.)

- ¹ Ehrenprofessor, Eastman Dental Institute Faculty, University College of London, London, Großbritannien.
- ² Dozent, Department of Medical, Surgical and Health Sciences, University of Trieste, Triest, Italien.
- ³ Privatpraxis, Turin, Italien.
- ⁴ Privatpraxis, Genua, Italien.
- ⁵ Privatpraxis, Verona, Italien.
- ⁶ Privatpraxis, Bologna, Italien.
- ⁷ Dozent, Unit of Cancer Epidemiology, S. Giovanni Battista Hospital, University of Torino and CPO Piemonte, Turin, Italien.
- ⁸ Privatpraxis, Rapallo (GE), Italien.
- ⁹ Privatpraxis, Chieti, Italien.
- ¹⁰ Professor und Dekan, Department of Surgical Sciences, CIR Dental School, University of Torino, Italien.
- ¹¹ Außerordentlicher Professor, Department of Surgical Sciences, CIR Dental School, University of Torino, Italien.

Korrespondenz an: Dr. Gianmario Schierano, University of Torino, Department of Surgical Sciences, Dental School, Via Nizza 230, Turin, Italien. Fax: +39 011 6331318. E-Mail: gianmario.schierano@unito.it

©2014 by Quintessence Publishing Co Inc.

Entscheidend für den Erfolg der Implantattherapie sind die operative Präparation des Implantatbetts und die Implantateigenschaften. Bislang konzentrierte sich die Forschung überwiegend auf die Verbesserung der Makro- und Mikrogeometrie von Implantaten, um ihre Primärstabilität zu erhöhen und eine rasche Sekundärstabilität zu erreichen^{1–5}. Die Präparation des Implantatbetts und ihr Einfluss auf das klinische Ergebnis wurden hingegen kaum beachtet. Für das meistverbreitete Operationsprotokoll werden ein Handstück und ein Spiralbohrer mit einer Rotationsgeschwindigkeit von 700 bis 2000/min verwendet¹. Beim Bohrvorgang entstehen mechanische Mikrovibrationen, die zwar sehr effektiv sind, intraoperativ aber teilweise nicht kontrollierbar sind und die Operation bei einem reduzierten Knochenangebot erschweren^{6,7}.

Obwohl bekannt ist, dass die Osseointegration durch eine minimaltraumatische Präparation des Implantatbetts gefördert wird, wurde bislang nur in sehr wenigen Studien der Zusammenhang zwischen dem Präparationsverfahren und der Knochenheilung untersucht. Stattdessen wurden z. B. Variablen im Zusammenhang mit Spiralbohrern, wie Erwärmung⁸, Spülung⁹ und Osteotome¹⁰, untersucht, die aber nur bei geringer Knochendichte anwendbar sind. Nach dem Wissen der Autoren gibt

es keine Veröffentlichungen, in denen neue Präparationsverfahren, die diese Einschränkungen der herkömmlichen Bohrverfahren überwinden können, vorgestellt werden.

In den letzten 10 Jahren wurde die piezoelektrische Knochenchirurgie eingeführt⁶, die neue Perspektiven für Osteotomien mit operativen Ultraschallinstrumenten eröffnete. Der mikrometrisch schneidende Ultraschall ist präzise und kontrollierbar¹¹ und wird mittlerweile in vielen Fachgebieten, z. B. Oralchirurgie^{12–14}, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie^{15,16}, Hals-Nasen-Ohrenheilkunde¹⁷, Orthopädie¹⁸ und Neurochirurgie¹⁹, angewendet. Außerdem legen piezoelektrische Geräte zur selektiven Knochenchirurgie²⁰ und histologische sowie biomolekulare Beobachtungen nahe, dass der Knochen nach Ultraschallosteotomien besser heilt als nach Osteotomien mit herkömmlichen Spiralbohrern^{21,22}.

Um daher die möglichen Vorteile dieses neuen Vorgehens bei der Knochenchirurgie zu nutzen, wurden spezielle piezoelektrische Ansätze für die Präparation des Implantatbetts entworfen. Mit der vorliegenden Multicenter-Fallserie wird ein neuartiges Verfahren zur ultraschallgestützten Implantatbettpräparation (UISP) vorgestellt. Weiterhin werden die Behandlungsergebnisse, wie das Implantatüberleben, im klinischen Alltag evaluiert.

Material und Methode

Studiendesign

Damit sie den klinischen Alltag widerspiegelt, wurden in diese Studie mit weit gefassten Einschlusskriterien partiell oder völlig unbezahnte Patienten aufgenommen, bei denen eine festsitzende implantatgetragene Restauration indiziert war. Die Patien-

ten mussten mindestens 18 Jahre alt und Raucher sein und einen Aufklärungsbogen verstehen sowie eine Einwilligungserklärung unterzeichnen können. Jede Knochenquantität und -qualität wurde eingeschlossen. Möglich waren das Setzen von Implantaten in ein ausreichendes Knochenvolumen oder die Implantation in Kombination mit einem regenerativen Verfahren, wie der Sinusbodenelevation, der Alveolarkammexpansion, der Knochentransplantation oder der gesteuerten Knochenregeneration (GBR). Der behandelnde Arzt konnte frei zwischen einer Sofortimplantation nach Extraktion, einer Früh- oder einer Spätimplantation ebenso wie zwischen Sofort-, verzögerter oder später Belastung, gedeckter oder nicht gedeckter Einheilung und allen handelsüblichen Implantaten wählen. Das Knochenvolumen wurde mit präoperativen Röntgenaufnahmen, Panoramaröntgenaufnahmen, Computertomografie (CT), digitaler Volumetomografie (DVT) und klinischer Untersuchung bestimmt.

Ausschlusskriterien waren die allgemeinen Kontraindikationen von Implantationen, Immunschwäche oder Immunsuppression, vorausgegangene Strahlentherapie im Kopfhals-Bereich, nicht eingestellter Diabetes, schlechte Mundhygiene und Compliance, unbehandelte Parodontalerkrankungen, Missbrauch von illegalen Drogen oder Alkohol, psychiatrische Erkrankungen oder unrealistische Erwartungen, Verweigerung der Teilnahme an einer einjährigen Nachbeobachtungszeit sowie die vorherige oder aktuelle Behandlung mit intravenösen Aminobisphosphonaten.

Die Studie erfolgte in Übereinstimmung mit den in der Deklaration von Helsinki (2000) über die klinische Forschung am Menschen festgelegten Prinzipien. Alle Patienten wurden ausführlich über das Studienziel sowie über die Verfahren, die Kontroll-

untersuchungen und mögliche Risiken aufgeklärt. Anschließend gaben sie schriftlich ihre Einwilligung. Alle Patienten wurden von 12 Ärzten mit unterschiedlichem Erfahrungsstand hinsichtlich der herkömmlichen und der ultraschallgestützten Implantattherapie aufgenommen und behandelt; alle Kontrollbesuche erfolgten an den jeweiligen Therapiezentren.

Operationsprotokoll

UISP

Die Patienten erhielten eine Stunde präoperativ eine Antibiotikaprophylaxe mit 2 g Amoxicillin (oder bei einer Penicillinallergie Clindamycin 600 mg) und spülten den Mund eine Minute lang mit 0,2 % Chlorhexidin. Nach der Gabe von Lokalanästhetika und Lappenmobilisierung wurde in allen Fällen das UISP-Protokoll durchgeführt.

Verwendet wurde ein Piezosurgery-3-Gerät (Mectron) in der Leistungseinstellung IMPLANT-Modus mit UISP-Ansätzen mit zunehmendem Durchmesser (IM1, IM2, Pilot 2–3, IM3, Pilot 3–4, IM4) (Abb. 1 und 2). Das Implantatbett wurde nach den Standardvorgaben des Herstellers präpariert. Der kortikale Zugang und die initiale Osteotomie wurden mit einem IM1-Ansatz präpariert. Anschließend wurde das Implantatbett mit einem IM2-Ansatz (Durchmesser: 2 mm) bis zur voreingestellten Arbeitstiefe erweitert und dann die Kortikalis mit einem Pilot-Ansatz 2–3 auf den nachfolgenden Ansatz vorbereitet. Abschließend wurde die gesamte Tiefe mit einem IM3-Ansatz (Durchmesser: 3 mm) präpariert. In der Kortikalis wurde mit einem Pilot-Ansatz 3–4 eine kortikale Senkbohrung angelegt und bei Implantaten mit großem Durchmesser ein IM4-Ansatz (Durchmesser: 4 mm) ver-



Abb. 1 Piezosurgery-Gerät.

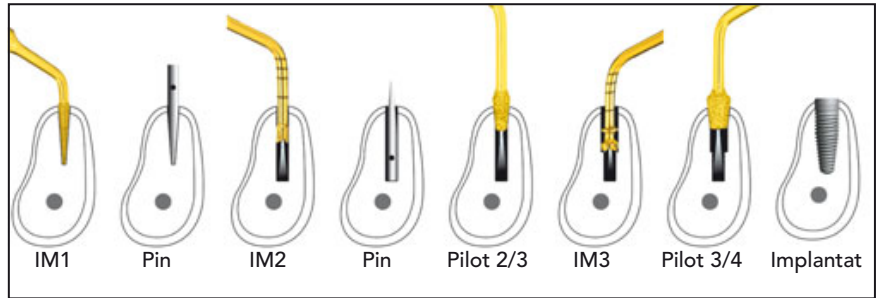


Abb. 2 Piezosurgery-Ansätze für die UISP.

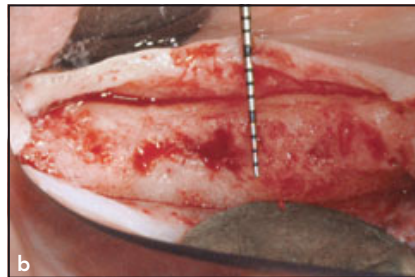
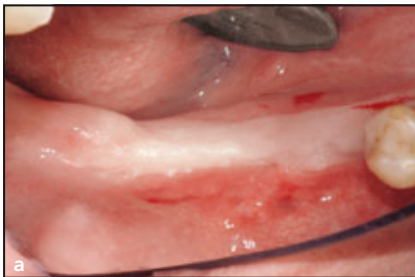


Abb. 3 (a und b) Klinische Befunde. (c) IM1-Ansatz für die initiale Perforation bis zu einer Maximaltiefe von 10 mm zur Festlegung der initialen Präparationsachse.

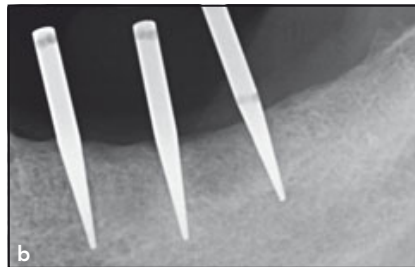


Abb. 4 (a) Parallele Pins, die auf den konusförmigen Anteil aufgesetzt werden, um die korrekte initiale Präparationsachse sicherzustellen. (b) Röntgenaufnahme. (c) Ansicht der Kortikalis nach der ersten Knochenperforation mit dem IM1-Ansatz.

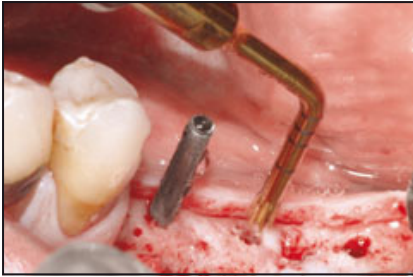


Abb. 5 Zweiter zylindrischer IM2-Ansatz mit einem Durchmesser von 2 mm. Die Spitze gibt eine Spülflüssigkeit ab, durch die es im Knochen zum Kavitationseffekt kommt.

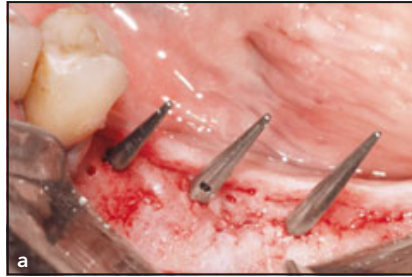


Abb. 6 (a) Parallele Pins, die auf den zylindrischen Anteil aufgesetzt werden, um die Ausrichtung der Perforation mit einem Durchmesser von 2 mm zu überprüfen. (b) Ansicht der Kortikalis nach der zweiten Knochenperforation mit dem IM2-Ansatz.

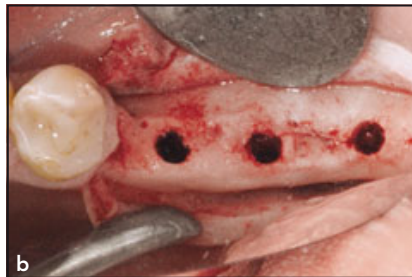
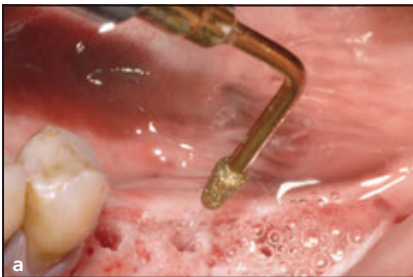
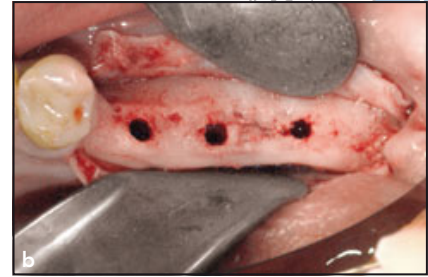


Abb. 7 (a) Stumpfer, konusförmiger Pilot-2-3-Ansatz mit diamantbesetzter Oberfläche, mit dem das Implantatbett in der Kortikalis von 2 auf 3 mm erweitert wird (b).

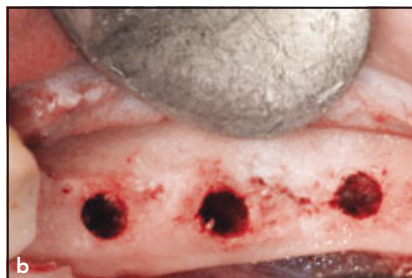
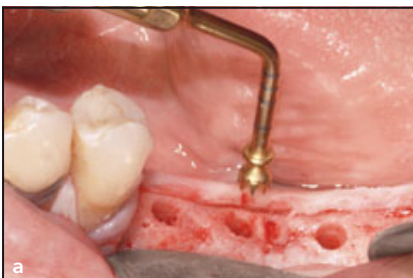


Abb. 8 Zylindrischer IM3-Ansatz mit einem Durchmesser von 3 mm. (a und b) Der Ansatz vergrößert den Durchmesser der Pilotosteotomie in der Spongiosa von 2 auf 3 mm und erweitert das Implantatbett schließlich auf einen Durchmesser von etwa 4 mm. (c) Röntgenaufnahme.



wendet. Die Präparationsachse wurde schrittweise mit entsprechenden Ausrichtungspins kontrolliert und bei Bedarf korrigiert (Abb. 3 bis 8).

Nach Abschluss der Implantation wurden regenerative Verfahren durchgeführt und die Lappen mit synthetischem Monofilament vernäht. Die Patienten erhielten nach Bedarf nichtsteroidale Antiphlogistika. Sie spülten zwei Wochen lang den Mund täglich zweimal mit 0,2 % Chlorhexidin und durften den Operationsbereich nicht putzen oder verletzen. Nach einer Knochenaugmenta-

tion erhielten die Patienten für sechs Tage postoperativ Antibiotika (Amoxicillin 2 x 1 g/d oder Clindamycin 2 x 300 mg/d bei Penicillinallergie). Innerhalb von 10 Tagen wurden alle Patienten untersucht und die Fäden entfernt.

Alle Implantate wurden innerhalb von sechs Monaten postoperativ belastet und alle Materialien, Verfahren und Zeitabstände der implantatprothetischen Rehabilitation individuell nach klinischen Gesichtspunkten ausgewählt. Die Patienten wurden für die gesamte Studienphase in ein

Mundhygieneprogramm aufgenommen, bei dem sie alle drei bis sechs Monate einbestellt wurden.

Ergebnisvariablen

Die Ergebnisvariablen umfassten: (1) die Implantatüberlebensrate (primäre Ergebnisvariable) insgesamt sowie bezogen auf das jeweilige Jahr (2007, 2008, 2009) und die Implantatposition (Oberkiefer, Unterkiefer). Der Implantatmisserfolg war als Im-

plantatmobilität und/oder eine Infektion, aufgrund derer das Implantat entfernt werden musste, definiert. Die Stabilität jedes Implantats wurde manuell durch Festziehen der Abutmentschraube oder Beurteilung der Primärstabilität der Krone mit den Griffen von zwei Instrumenten bestimmt. (2) Komplikationen und/oder unerwünschte Ereignisse, die dokumentiert wurden.

Statistische Auswertung

Bei der statistischen Auswertung wurde die 1-Jahres-Misserfolgsrate aller Implantate ermittelt. Für alle Risikoschätzungen galt ein 95%-Konfidenzintervall (CI).

Ergebnisse

Zwischen Januar 2007 und Dezember 2009 wurden konsekutiv 1914 Patienten in die Studie aufgenommen und in 12 klinischen Zentren behandelt. Insgesamt brachen 29 Patienten (1,5 %) innerhalb von einem Jahr nach der Implantation die Studienteilnahme ab. Die verbliebenen 1885 Patienten umfassten 876 Männer und 1009 Frauen, ihr Altersbereich lag bei 19 bis 77 Jahren mit einem mittleren Alter von $58,2 \pm 9,6$ Jahren. Sie wurden für ein bis drei Jahre nachbeobachtet. Insgesamt wurden nach dem UISP-Protokoll 3579 Implantate (2060 in den Oberkiefer und 1519 in den Unterkiefer) gesetzt. Verwendet wurden 15 verschiedene zylindrische oder konische Implantattypen mit einer Länge von 7 bis 18 mm und einem Durchmesser von 3 bis 5 mm mit mäßig rauer Oberfläche (Tabelle 1). Für keines der Implantate wurden operative Komplikationen des UISP-Protokolls berichtet. Innerhalb von fünf Monaten nach der Implantation versagten 78 Implantate (Oberkiefer:

Tabelle 1 Implantathersteller

Astra Tech, Mölndal, Schweden
Exacta, Biaggini Medical Devices, Arcola, Italien
BioHorizons, Birmingham, Alabama, USA
Biomet 3i, Palm Beach Gardens, Florida, USA
Biotech, Salon de Provence, Frankreich
Camlog, Basel, Schweiz
Henry Schein Krugg, Buccinasco, Italien
Implant Direct, Calabasas, Kalifornien, USA
Lifecore, Keystone Dental, Burlington, Massachusetts, USA
Nobel Biocare, Zürich, Schweiz
Shakleton, Brescia, Italien
Straumann, Basel, Schweiz
Sweden and Martina, Due Carrare, Italien
Endopore, Sybron, Orange, Kalifornien, USA
Zimmer, Carlsbad, Kalifornien, USA

Tabelle 2 Aufschlüsselung des Implantatmisserfolgs nach Jahr und Implantatposition

	Implantate (n)	1-Jahres-Misserfolg (n)	%	95% CI
Gesamt	3579	81	2,26	(1,82–2,80)
Jahr				
2007	924	18	1,95	(1,24–3,06)
2008	1237	32	2,59	(1,84–3,63)
2009	1418	31	2,19	(1,54–3,09)
Kiefer				
Oberkiefer	2060	62	3,01	(2,35–3,84)
Unterkiefer	1519	19	1,25	(0,80–1,95)

CI = Konfidenzintervall.

59, Unterkiefer: 19). Der Anteil der Osseointegration lag insgesamt bei 97,74 %; bezogen auf die jeweiligen Jahre 2007 bei 98 %, 2008 bei 97,4 % und 2009 bei 97,8 %.

Drei Oberkieferimplantate versagten nach dreijähriger Belastung, und die Gesamtüberlebensrate der Implantate betrug bei der Kontrolluntersuchung nach einem bis drei Jahren 97,82 % (Oberkiefer: 96,99 %, Unterkiefer: 98,75 %) mit einer Zunahme des relativen Risikos für einen Implantatmisserfolg um das 2,40-fache (95 % CI: 1,45 bis 4,01) (Tabelle 2). Obwohl das Risiko für einen Misserfolg über die dreijährige Studienphase für alle Implantate konstant blieb, versagten mehr Implantate im Ober- als im Unterkiefer.

Diskussion

Zur Implantateinheilung gehört eine akute Entzündungsreaktion im periimplantären Knochen, die zur Bildung von vaskularisiertem Granulationsgewebe und zur Proliferation von pluripotenten Mesenchymzellen führt, die sich in Osteoprogenitorzellen differenzieren können. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Intensität der Entzündungsreaktion und dem Operationstrauma, das wiederum die periimplantäre Knochenresorption beeinflusst: Eine exzessive Entzündung kann in der frühen Heilungsphase zu einem signifikanten Verlust der Primärstabilität führen²³.

Das Osteotomietrauma, das bei der Verwendung von Spiralbohrern entsteht, wurde durch die Einführung der piezoelektrischen Knochenchirurgie reduziert. Die Schneidwirkung der piezoelektrischen Mikro vibrationen entsteht durch die Ultraschallschockwellen, die mit geringer Kraft und hoher Frequenz auf den Knochen treffen⁷. Die Knochenfragmente werden mikronisiert und durch den Kavitationseffekt der Kochsalzlösung

entfernt. Auf diese Art wird der Schaden an Spongiosa und Kortikalis auf ein Minimum reduziert, während die Spülung, Kühlung und Desinfektion erleichtert werden²⁴. Durch die reinigende Wirkung werden Knochen debris und Gewebereste von der Osteotomie entfernt, die Markräume exponiert und die rasche Migration von Osteoprogenitorzellen in die frische Wunde begünstigt. In In-vitro-Studien wurde gezeigt, dass ein Knochnschnitt mit Ultraschall die ursprüngliche Mikroarchitektur des Knochens bewahrt¹¹, wodurch die Knochenneubildung verstärkt wird^{25,26}.

Außerdem wurden in einer aktuellen biomolekularen Studie²⁷ nach Ultraschalloperationen geringere zelluläre Hsp70-Spiegel (ein Marker für oxidativen Stress) ermittelt als nach herkömmlichen Knochenoperationen mit rotierenden Instrumenten.

Die In-vivo-Befunde spiegeln offenbar die Ergebnisse der Grundlagenforschung wider: Eine präklinische Hundestudie²¹, in der Diamantbohrer, Carbidbohrer und piezoelektrische Ansätze bei parodontalen Knochenoperationen verglichen wurden, ergab für den mit Ultraschall geschnittenen Knochen eine bessere Knochenreparatur und einen besseren Knochenumbau. Preti et al.²² verglichen am Tiermodell das UISP-Verfahren mit der herkömmlichen Implantatbettpräparation. In den Proben aus den mit einem Bohrer präparierten Bereichen zeigte sich eine höhere Konzentration entzündlicher Zellen. In den mittels Ultraschall präparierten Implantatbereichen wurden ein früher Anstieg von Bone Morphogenetic Protein-4 und Transforming Growth Factor- β 2 sowie eine Reduktion der proinflammatorischen Zytokine beobachtet.

In einer radiologischen Studie am Menschen wurde die Präparation des Implantatbetts mit einem Bohrer bzw. piezoelektrisch vorgenommen und densitrometrisch verglichen²⁸. Dabei

führte die piezoelektrische Präparation zu einer besseren periimplantären Knochendichte und Osteogenese als die Präparation mit rotierenden Instrumenten. Eine aktuelle randomisierte klinische Studie zeigte, dass die ultraschallgestützte Präparation den Implantatstabilitätsquotienten in der frühen Heilungsphase kaum verringert und die Stabilität danach rascher zunimmt als nach der herkömmlichen Präparation mit rotierenden Instrumenten²⁹.

In der vorliegenden Multicenter-Fallserie wurde das Ergebnis des UISP-Protokolls im klinischen Alltag untersucht, indem es bei einer großen Anzahl von Patienten und in vielen verschiedenen klinischen Situationen eingesetzt wurde. Insgesamt wurden mit dem Ultraschallverfahren im Laufe der drei Jahre 3579 Implantate gesetzt. Die 12 Operateure hatten einen unterschiedlichen Erfahrungsstand. Bei keinem der Eingriffe kam es zu Komplikationen aufgrund des UISP-Protokolls. Die insgesamt für die drei Jahre ermittelte Osseointegrations- und Implantatüberlebensrate (SR) lag bei 97,74 %. Damit liegt sie in einem Bereich, der auch in aktuellen Reviews für die klinischen Ergebnisse von Implantaten ermittelt wurde, bei denen die Implantatpräparation mit rotierenden Instrumenten in nativem Knochen (SR: 94 bis 98 %)^{4,30}, in regenerativ behandelten lokalen Defekten (Sofortimplantate in frische Extraktionsalveolen [SR: 98 bis 99 %]),^{31,32} in augmentierten Sinusböden (SR: 96 bis 97 %)^{33,34} und in Kombination mit einer GBR (SR: 90 bis 100 %) vorgenommen wurde^{35,36}.

Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, wonach die Präparation des Implantatbetts mittels Ultraschall eine geeignete Alternative zu den traditionellen Verfahren mit rotierenden Instrumenten ist und zu ähnlich guten Ergebnissen in Bezug auf die Osseointegration und das Implantatüberleben führt. Allerdings sind noch

entsprechende Fallkontrollserien und randomisierte klinische Studien erforderlich, um diese vorläufigen Ergebnisse zu bestätigen und zu verallgemeinern. Außerdem sind weitere Studien, die das Verständnis der klinischen Auswirkungen einer ultraschallgestützten Implantatbettpräparation verbessern und sich mit den Ergebnissen bei bestimmten klinischen Indikationen befassen, erforderlich.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Multicenter-Fallserie an einer großen Anzahl von Patienten legen nahe, dass die ultraschallgestützte Präparation des Implantatbetts eine geeignete Alternative zu dem traditionellen Vorgehen mit rotierenden Instrumenten ist.

Interessenerklärung

Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

Literatur

1. Trisi P, Rao W, Rebaudi A. A histometric comparison of smooth and rough titanium implants in human low-density jawbone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999;14:689–698.
2. O'Sullivan D, Sennerby L, Meredith N. Influence of implant taper on the primary and secondary stability of osseointegrated titanium implants. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:474–480.
3. Schierano G, Canuto RA, Navone R, et al. Biological factors involved in the osseointegration of oral titanium implants with different surfaces: A pilot study in minipigs. *J Periodontol* 2005;76:1710–1720.
4. Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:625–642.
5. Wennerberg A, Albrektsson T. On implant surfaces: A review of current knowledge and opinions. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:63–74.
6. Vercellotti T. Piezoelectric surgery in implantology: A case report. A new piezoelectric ridge expansion technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20:358–365.
7. Vercellotti T. Essentials in Piezosurgery: Clinical Advantages in Dentistry. Rome: Quintessence, 2009.
8. Tehemar SH. Factors affecting heat generation during implant site preparation: A review of biologic observations and future considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999;14:127–136.
9. Benington IC, Biagioni PA, Briggs J, Sheridan S, Lamey PJ. Thermal changes observed at implant sites during internal and external irrigation. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:293–297.
10. Summers RB. A new concept in maxillary implant surgery: The osteotome technique. *Compendium* 1994;15:152–158.
11. Rashad A, Sadr-Eshkevari P, Weuster M, Schmitz I, Prochnow N, Maurer P. Material attrition and bone micromorphology after conventional and ultrasonic implant site preparation. *Clin Oral Implants Res* 2013;24(suppl):110–114.
12. Wallace SS, Mazor Z, Froum SJ, Cho SC, Tarnow DP. Schneiderian membrane perforation rate during sinus elevation using piezosurgery: Clinical results of 100 consecutive cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:413–419.
13. Vercellotti T, Podesta A. Orthodontic microsurgery: A new surgically guided technique for dental movement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:325–331.
14. Stacchi C, Costantinides F, Biasotto M, Di Lenarda R. Relocation of a malpositioned maxillary implant with piezoelectric osteotomies: A case report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008;28:489–495.
15. Robiony M, Polini F, Costa F, Vercellotti T, Politi M. Piezoelectric bone cutting in multipiece maxillary osteotomies. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:759–761.
16. Rana M, Gellrich NC, Rana M, Piffkó J, Kater W. Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with piezosurgery versus oscillating saw and chisel osteotomy: A randomized prospective trial. *Trials* 2013;14:49.
17. Grauvogel J, Scheiwe C, Kaminsky J. Use of piezosurgery for internal auditory canal drilling in acoustic neuroma surgery. *Acta Neurochir (Wien)* 2011;153:1941–1947.
18. Hoigné D, Hug U, von Wartburg U. Piezoelectric osteotomy in hand surgery: The autologous osteocartilage transplantation for joint reconstruction. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2011;43:319–320.
19. Follmann A, Korff A, Fuertjes T, Kunze SC, Schmieder K, Radermacher K. A novel concept for smart trepanation. *J Craniofac Surg* 2012;23:309–314.
20. Bovi M, Manni A, Mavriqi L, Bianco G, Celletti R. The use of piezosurgery to mobilize the mandibular alveolar nerve followed immediately by implant insertion: A case series evaluating neurosensory disturbance. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30:73–81.
21. Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM, et al. Osseous response following resective therapy with piezosurgery. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:543–549.
22. Preti G, Martinasso G, Peirone B, et al. Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: A pilot study in minipigs. *J Periodontol* 2007;78:716–722.
23. Raghavendra S, Wood MC, Taylor TD. Early wound healing around endosseous implants: A review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:425–431.
24. Arrojo S, Benito Y, Tarifa AM. A parametric study of disinfection with hydrodynamic cavitation. *Ultrason Sonochem* 2008;15:903–908.
25. Soldner E, Herr G. Knochen, knochen-transplantate und knochenersatzmaterialien. Grundlagen, aktueller stand und neue entwicklungen. *Trauma Berufs-krankheit* 2001;3:256–269.
26. Rundle CH, Wang H, Yu H, et al. Microarray analysis of gene expression during the inflammation and endochondral bone formation stages of rat femur fracture repair. *Bone* 2006;38:521–529.
27. Gülnahar Y, Hüseyin Kösger H, Tutar Y. A comparison of piezosurgery and conventional surgery by heat shock protein 70 expression. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42:508–510.



28. Di Alberti L, Donnini F, Di Alberti C, Camerino M. A comparative study of bone densitometry during osseointegration: Piezoelectric surgery versus rotary protocols. *Quintessence Int* 2010;41:639–644.
29. Stacchi C, Vercellotti T, Torelli L, Furlan F, Di Lenarda R. Changes in implant stability using different site preparation techniques: Twist drills versus Piezosurgery. A single-blinded, randomized, controlled clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013;15:188–197.
30. Jung RE, Pjetursson BE, Glauser R, Zembic A, Zwahlen M, Lang NP. A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19:119–130.
31. Atieh MA, Payne AG, Duncan WJ, de Silva RK, Cullinan MP. Immediate placement or immediate restoration/loading of single implants for molar tooth replacement: A systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:401–415.
32. Lang NP, Pun L, Lau KY, Li KY, Wong MC. A systematic review on survival and success rates of implants placed immediately into fresh extraction sockets after at least 1 year. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23(suppl 5):39–66.
33. Del Fabbro M, Testori T, Francetti L, Weinstein R. Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:565–577.
34. Pjetursson BE, Tan WC, Zwahlen M, Lang NP. A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation. *J Clin Periodontol* 2008; 35(suppl 8):216–240.
35. Aghaloo TL, Moy PK. Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement? *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007;22(suppl):49–70.
36. Clementini M, Morlupi A, Canullo L, Agrestini C, Barlattani A. Success rate of dental implants inserted in horizontal and vertical guided bone regenerated areas: A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012;41:847–852.