

## Prospektive Multicenter-Studie zur lokalen Alveolarkammaugmentation mit boviner Perikardmembran und spongiösem partikuliertem Allograft



Thomas W. Sterio, DMD, MS<sup>1</sup>/James A. Katancik, DDS, PhD<sup>2</sup>  
 Steven B. Blanchard, DDS, MS<sup>3</sup>/Pinelopi Xenoudi, DDS, MS<sup>4</sup>  
 Brian L. Mealey, DDS, MS<sup>5</sup>

Bei einer Resorption des Alveolarkamms entstehen oft Defekte, die eine Implantation schwierig oder unmöglich machen. Mit Augmentationsverfahren kann eine geeignete Form des Alveolarkamms hergestellt und so eine Implantation ermöglicht werden. In der vorliegenden prospektiven Multicenter-Studie wurde klinisch und radiologisch die Effizienz einer bovinen Perikardmembran und eines partikulierten mineralisierten spongiösen Allografts bei der lateralen Alveolarkammaugmentation untersucht. Insgesamt 44 teilbezahnte Patienten beendeten die Studie. Bei 38 der 44 Patienten (86,4 %) konnten sechs Monate nach der Augmentation dentale Implantate in einer prothetisch korrekten Position gesetzt werden. Die Breite des Alveolarkamms nahm nach der Augmentation klinisch um durchschnittlich 2,61 mm zu sowie radiologisch 3 mm apikal des Knochenkamms um 1,65 mm und 6 mm apikal des Kamms um 1,93 mm. Im Mittel wurden etwa 50 % des horizontal ergänzten Transplantatmaterials während der Einheilung verlagert oder resorbiert. Nach sechs Monaten wurden aus dem augmentierten Alveolarkamm Biopsiezylinder entnommen. Histomorphometrisch lag bei diesen Proben der Anteil an vitalem Knochen bei 58 %, an residuellen Allograft-Partikeln bei 12 % und an nicht mineralisiertem Gewebe bei 30 %. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2013;33:461–469.)

<sup>1</sup> Privatpraxis, Swampscott, Massachusetts, USA; vormaliges Department of Periodontics, University of Texas Health Science Center at San Antonio, Texas, USA.

<sup>2</sup> Außerordentlicher Professor und Leiter, Department of Periodontology, Oregon Health and Science University School of Dentistry, Portland, Oregon, USA; vormaliges University of Texas Health Science Center Houston Dental Branch, Houston, Texas, USA.

<sup>3</sup> Außerordentlicher Professor und Leiter, Graduate Periodontics, Indiana University School of Dentistry, Department of Periodontics and Allied Dental Programs, Indianapolis, Indiana, USA.

<sup>4</sup> Assistenzprofessorin und stellvertretende Programmleiterin, Advanced Periodontal Therapies Program, University of Colorado School of Dental Medicine, Aurora, Colorado, USA.

<sup>5</sup> Professor und Leiter des Graduiertenprogramms, Department of Periodontics, University of Texas Health Science Center, San Antonio, Texas, USA.

Korrespondenz an: Dr. Brian Mealey, Department of Periodontics, University of Texas Health Science Center, 7703 Floyd Curl Drive, San Antonio, TX 78229, USA.  
 Fax: +1 210-567-3761; E-Mail: mealey@uthscsa.edu

©2013 by Quintessence Publishing Co Inc.

Innerhalb von einem Jahr nach einer Zahnextraktion können etwa 50 % der Alveolarkambbreite resorbiert werden, wobei der Großteil der Resorption in den ersten drei Monaten stattfindet<sup>1</sup>. In einem systematischen Review wurde kürzlich ermittelt, dass die Alveolarkambbreite bei natürlicher Heilung nach einer Extraktion um 2,6 bis 4,6 mm abnimmt und die Höhe um 0,4 bis 3,9 mm<sup>2</sup>. Diese Resorption lässt sich im Rahmen der Extraktion vorhersagbar durch ein Ridge-Preservation-Verfahren minimieren, bei dem verschiedene Transplantatmaterialien und Vorgehensweisen möglich sind<sup>3–8</sup>. Da die bukkale Knochenplatte deutlich dünner ist als die linguale, ist die Bukkalseite nach der Extraktion viel eher von Alveolarkammdefekten betroffen<sup>9,10</sup>. Damit verschiebt sich dann das Zentrum des Alveolarkamms nach lingual. Implantate müssen nun lingual positioniert werden, was zu einem schlechten prothetischen und funktionellen Ergebnis führt und eventuell eine Augmentation vor oder während der Implantation erfordert<sup>11,12</sup>.

Bei der gesteuerten Knochenregeneration (GBR) werden die Weichgewebe von einem Knochendefekt abgehoben, sodass ein Raum zwischen dem Defekt und dem Weichgewebe entsteht, und der Raum während der Heilung meist durch Transplantatmaterial und eine Membran erhalten<sup>13</sup>. Als Transplantatmaterialien für die



GBR werden Autografts, Allografts und Xenografts verwendet<sup>14-16</sup>. Außerdem werden zur Fixierung des Transplantatmaterials und Stabilisierung des Blutkoagulums bei der GBR resorbierbare und nicht resorbierbare Membranen verwendet. Sie sind auch eine mechanische Barriere, die verhindert, dass Weichgewebe in den Knochendefekt einwachsen<sup>17-21</sup>. In der vorliegenden Studie wurde klinisch und radiologisch die Effizienz einer bovinen Perikardmembran und eines partikulierten mineralisierten spongiösen Allografts bei der lateralen Alveolarkammaugmentation untersucht.

## Material und Methode

An dieser ungeblindeten, nicht randomisierten, prospektiven Multi-center-Studie waren vier wissenschaftliche Zentren beteiligt. In die Studie aufgenommen wurden 55 systemisch gesunde erwachsene Patienten, bei denen eine laterale Alveolarkammaugmentation vor der Implantation geplant war. 44 von ihnen beendeten die Studie planmäßig. Für fünf Patienten lagen keine Beobachtungswerte vor oder es wurde auf Wunsch des Patienten von einer Implantation Abstand genommen. Einer wurde wegen einer postoperativen Infektion aus der Studie ausgeschlossen und ein weiterer wegen mangelnder Compliance mit dem Studienprotokoll. Die Behandlungsstellen durften im Ober- oder Unterkiefer liegen und der zahnlose Bereich einen oder mehrere fehlende Zähne umfassen. In diesem Bereich musste eine Augmentation indiziert sein, um Implantate mit Standarddurchmesser und geeigneter funktioneller und prothetischer Position setzen zu können. Ausschlusskriterien waren die Einnahme von Medikamenten mit möglichen Auswirkungen auf den Knochen- oder Weichge-

websmetabolismus (wie systemische Glukokortikoide oder Bisphosphonate), eine mittelschwere bis schwere Parodontalerkrankung oder der tägliche Konsum von > 10 Zigaretten. Alle klinischen Studien wurden von den jeweiligen Ethikkommissionen der Zentren genehmigt.

Bei Studienbeginn wurde für jeden Patienten eine chirurgisch-radiologische Schablone mit röntgendichter Folie auf der bukkalen und lingualen Fläche hergestellt, um die klinischen und radiologischen Messungen zu standardisieren. An drei Zeitpunkten wurden im Studienverlauf digitale Volumentomogramme (DVT) angefertigt: bei Studienbeginn zur Bestimmung der initialen Alveolarkammdimensionen, sieben bis 14 Tage nach der lateralen Alveolarkammaugmentation zur Beurteilung der operativ eingebrachten Menge an Transplantatmaterial und sechs Monate nach dem Eingriff zur Evaluation der finalen Knochendimensionen vor der Implantation. Auf jeder dieser DVT-Aufnahmen wurde die Alveolarkambbreite an einem Messpunkt 3, 6, 9 und 12 mm apikal des Alveolarkamms gemessen. Die radiologische Untersuchung erfolgte durch einen Facharzt der Mund-, Kiefer- und Gesichtsradiologie. Die Aufnahmen wurden volumetrisch ausgerichtet, um akkurate und reliable Werte zu erhalten und um die Messungen bei jedem DVT zu allen Zeitpunkten an denselben Stellen vornehmen zu können.

Ermittelt wurden die Veränderungen der Knochenhöhe und -breite. Primäre radiologische Ergebnisvariable war die Veränderung der knöchernen Alveolarkammdimensionen zwischen dem ersten DVT (Studienbeginn) und dem dritten DVT (Wiedereröffnung nach sechs Monaten). Die Unterschiede der Alveolarkammabmessungen zwischen dem ersten (Studienbeginn) und zweiten (sechs bis 14 Tage postoperativ) DVT ent-

sprachen der Menge des operativ eingebrachten Knochentransplantatmaterials und die Unterschiede zwischen dem zweiten und dritten DVT der Änderung der Alveolarkammdimension zwischen der intraoperativ eingebrachten Materialmenge und dem Material im endgültig geheilten Alveolarkamm. So wurde festgestellt, wie viel des transplantierten Knochens während der Heilung verlagert oder resorbiert wurde.

Die Patienten nahmen 10 Tage lang Doxycyclin ein (2 x 100 mg/d), beginnend eine Stunde präoperativ. Alle klinischen Messungen erfolgten initial an der schmalsten Stelle des Alveolarkamms und wurden mithilfe der Messschablonen auch während der Studie immer wieder an dieser Stelle durchgeführt. Nach der Mobilisation eines Vollschichtlappens (Abb. 1 bis 3) wurde die Alveolarkambbreite mithilfe der Schablone mit Messschiebern gemessen (Salvin Dental Specialties). Die vertikale Messung wurde ebenfalls mithilfe der Schablone mit einer UNC-15-Parodontalsonde (G. Hartzell & Son) durchgeführt. Bei allen Patienten wurde die Kortikalis der Transplantatbetten perforiert (Abb. 4) und die Mobilisierung des Transplantats durch Periostschlitzung verbessert, um einen primären Lappenschluss über dem Transplantat zu erreichen. Die bukkale Augmentation erfolgte mit einem mineralisierten partikulierten spongiösen Allograft (Puros Cancellous Allograft, Zimmer Dental) (Abb. 5). Die primäre Augmentation wurde horizontal durchgeführt. Gelegentlich wurde auf den Knochenkamm eine kleine Menge Transplantatmaterial gegeben, wobei das primäre Behandlungsziel in keinem der Fälle eine vertikale Augmentation war. Die bovine Perikardmembran (Copi-Os Pericardium Membrane, Zimmer Dental) wurde zugeschnitten und so über das Transplantat gelegt, dass sie an jeder Seite mindestens 2 bis

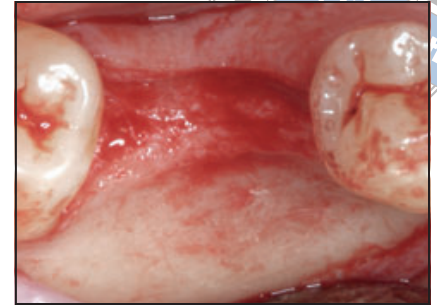




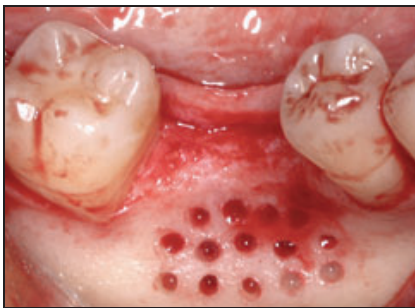
**Abb. 1** Präoperative Ansicht des unbezahnnten Bereichs des unteren rechten ersten Molaren.



**Abb. 2** Initiale Inzisionen im rechten unteren Seitenzahnbereich.



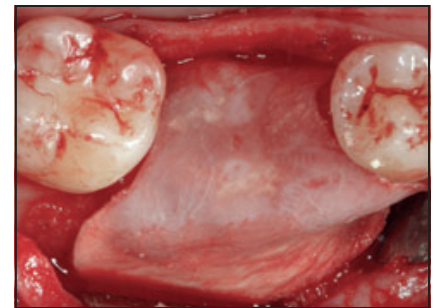
**Abb. 3** Freigelegter Alveolarkamm mit einer Breite von 4 mm und unzureichendem Knochenvolumen für ein prothetisch korrekt ausgerichtetes Implantat.



**Abb. 4** Kortikale Perforationen im Bereich des unteren rechten ersten Molaren.



**Abb. 5** Eingebrachtes mineralisiertes Spongiosa-Allograft.



**Abb. 6** Bovine Perikardmembran über dem Transplantat.

3 mm auf den nativen Knochen reichte (Abb. 6). Vor dem Lappenschuss wurde die Breite des Alveolarkamms erneut mit einem Messschieber an einer Stelle gemessen, die den beiden vorausgegangenen entsprach. Um eine Verlagerung oder Kompression von Transplantat und Membran zu verhindern, wurde die Schablone nicht für diese Messung benutzt, sondern der Messpunkt anhand der Position der zuvor durchgeführten horizontalen Messungen abgeschätzt. Gegebenenfalls wurde die Membran durch interne Periost-Matratzennähte stabilisiert (Abb. 7) und die Inzision mit 5-0-Vicryl verschlossen (Abb. 8). Die vertikalen Inzisionen wurden mit 5-0-Catgut chrom geschlossen. Postoperativ nahmen die Patienten

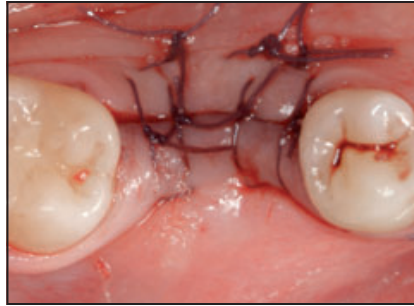
weiterhin Doxycyclin ein. Sie putzten den Operationsbereich für mindestens zwei Wochen nicht mit der Zahnbürste und spülten den Mund zweimal täglich mit 0, 12 % Chlorhexidin. Die Patienten stellten sich nach sieben bis 14 Tagen zur Kontrolle der Wundheilung, einem DVT und dem Entfernen der Fäden vor, sowie einen und drei Monate postoperativ zu weiteren Kontrollen der Wundheilung.

Sechs bis 6,5 Monate nach dem Ersteingriff wurde der Bereich wiedereröffnet (Abb. 9). Nach Reflexion eines Vollschichtlappens wurde die chirurgische Schablone platziert und mit denselben Messschiebern wie beim Ersteingriff unter direkter Sicht die Breite und Höhe des Alveolarkamms bestimmt. Am vorgesehenen

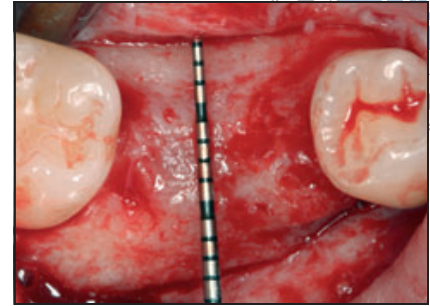
Implantatbett wurde eine Osteotomie durchgeführt. Vor der Implantation wurde in einem der Studienzentren bei 10 Patienten ein 6 bis 8 mm langer Knochenzylinder mit einem Durchmesser von 2 mm aus dem augmentierten Bereich entnommen. Dazu wurde ein Trepanbohrer mit einem Innendurchmesser von 2,0 mm und einem Außendurchmesser von 3,0 mm (Salvin Dental Specialties) verwendet. Die Gewebeproben wurden histomorphometrisch untersucht. Die Entnahme erfolgte nach Möglichkeit aus einem Bereich, der fast nur aus vollständig regeneriertem Gewebe bestand (Abb. 10 und 11). Die Techniken zur histologischen Verarbeitung und Untersuchung wurden bereits an anderer Stelle beschrieben<sup>6-8</sup>. Primä-



**Abb. 7** Interne horizontale Matratzennaht zur Stabilisierung der Membran.



**Abb. 8** Primärer Lappenschluss.

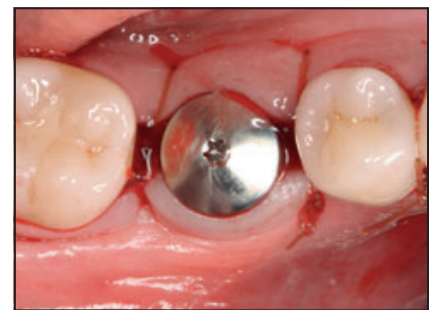


**Abb. 9** Verwendung einer Parodontalsonde bei der Wiedereröffnung zur Darstellung der Alveolarkammbreite (Messungen mit Alveolarkamm-Messschiebern).



**Abb. 10** (links) Ausreichend breiter Alveolarkamm für eine prothetisch korrekte Implantation. Zu erkennen ist die Entnahmestelle des Knochenzylinders aus der Außenfläche des augmentierten Alveolarkamms.

**Abb. 11** (rechts) Implantat mit geschlossenen Lappen.



re histologische Parameter waren der Anteil von neugebildetem Knochen, residuellen Transplantatpartikeln und Bindegewebe/anderen nicht mineralisierten Strukturen.

Die statistische Auswertung wurde von einem unabhängigen Statistiker mittels SAS 9.2 (T2M2) vorgenommen. Die primären Studienendpunkte waren die klinischen und radiologischen Änderungen der Alveolarkammbreite und -höhe von Studienbeginn bis sechs Monate postoperativ. Sekundärer Endpunkt war das Ausmaß der Transplantatresorption oder -verlagerung während der Heilung von Studienbeginn bis sechs Monate postoperativ. Bei den radiologischen Daten wurden die Werte der Höhe sowie der Breite an den Messpunkten 3, 6, 9 und 12 mm mithilfe von Mittelwert,

Standardabweichung (SA), Bereich und 95 % Konfidenzintervall (CI) des Mittelwerts zusammengefasst. Auch die Unterschiede an den DVT-Endpunkten wurden mittels Mittelwert, SA, Bereich und 95 % CI der mittleren Unterschiede zwischen den DVT-Zeitpunkten zusammengefasst. Bei den klinischen Daten wurden Knochenhöhe und -breite mit Mittelwert, SA, Bereich und 95 % CI der mittleren Unterschiede zwischen den präoperativen Werten und den Werten bei der Wiedereröffnung angegeben. Für jeden radiologischen und klinischen Unterschied sowie für jede Messung wurde mit einem t-Test für gepaarte Stichproben untersucht, ob der Unterschied bei Null lag. Außerdem wurde ein Wilcoxon-Rangsummentest durchgeführt. Für alle Tests galt ein Signifikanzniveau von 0,05.

Keiner der P-Werte wurde für vielfache Tests adjustiert. Mit den radiologischen Daten wurden auch lineare Korrelationen durchgeführt, um die Beziehung zwischen der eingebrachten Menge an Transplantatmaterial und dem Anteil an Transplantatmaterial zu ermitteln, das während der Einheilung verlagert oder resorbiert wurde. Zudem wurde ein P-Wert berechnet, um die Nullhypothese „keine Korrelation“ zu testen. Mögliche erklärende Variablen wurden mit einer Serie aus Multivarianz-Analysen untersucht, um einen Unterschied zwischen den sechs operativen Variablen (Studienzentrum, Operation im Ober- oder Unterkiefer, Alter des Patienten bei der Operation, Länge des Operationsbereichs definiert als ein Zahn oder mehrere Zähne, Lage des Operationsbereichs im Front- oder

Seitenzahnbereich und Geschlecht des Patienten) und den zwei operativen Variablen nach sechs Monaten (Änderung der Alveolarkambbreite in Millimetern und prozentuale Änderung der Alveolarkambbreite) zu ermitteln.

## Ergebnisse

In die Studie wurden 51 Patienten aufgenommen, von denen sieben die Studie nicht beendeten. Von den 44 Patienten, die sie beendeten, waren 11 Männer und 33 Frauen. Insgesamt wurden im Oberkiefer 27 Bereiche behandelt und im Unterkiefer 17. In 30 Bereichen fehlte nur ein Zahn, in 14 Bereichen mehrere Zähne. Die Defekte verteilten sich gleichmäßig auf den Front- ( $n = 22$ ) und den Seitenzahnbereich ( $n = 22$ ). Bei vier der 44 Patienten traten postoperativ Komplikationen auf: drei kleine Membranexpositionen während der frühen Heilungsphase und eine kleine Eiterung ohne klinisch relevante Membranexposition. Die korrigierten Defekte heilten ohne Intervention vollständig ab. Bei 38 (86,4 %) der 44 Patienten, die die gesamte Studienphase beendeten, wurde die operative Alveolarkammaugmentation als erfolgreich eingestuft. „Erfolg“ war definiert als ausreichende Alveolarkambbreite nach der Augmentation für das prothetisch korrekte Setzen von Implantaten mit Standarddurchmesser. Bei sechs dieser 44 Patienten erreichte der Alveolarkamm nicht die für einen Erfolg festgelegten Abmessungen, sondern nur eine durchschnittliche Breite von 4,58 mm.

Die mittlere klinische Alveolarkambbreite betrug bei allen bis zum Ende teilnehmenden 44 Patienten (einschließlich der sechs Patienten, deren Alveolarkambbreite nicht für eine Implantation ausreichte) initial durchschnittlich 3,77 mm und bei der Wiedereröffnung im Mittel

6,38 mm. Dies entspricht einer statistisch signifikanten Zunahme der klinischen Alveolarkambbreite um durchschnittlich 2,61 mm nach sechs Monaten gegenüber dem präoperativen Wert (Tabelle 1). Im Oberkiefer nahm die Alveolarkambbreite um  $2,48 \pm 1,97$  mm zu, im Unterkiefer um  $2,82 \pm 1,54$  mm. Klinisch wurde horizontal bei der Augmentation durchschnittlich 7,73 mm Transplantatmaterial eingebracht (Tabelle 1). Davon wurden durchschnittlich 5,20 mm oder 66,6 % während der Heilung verlagert oder resorbiert. Tabelle 1 fasst die Zunahme der radiologischen Alveolarkambbreite an jedem Messpunkt zusammen. Nahe dem Knochenkamm betrug die Zunahme 1,65 bis 1,93 mm (36,8 bis 35,2 %) und fiel nach apikal geringer aus. Die Höhe des Alveolarkamms veränderte sich kaum, da dies kein Behandlungsziel war. Sie nahm klinisch durchschnittlich um  $0,42 \pm 3,48$  mm ( $P = 0,4267$ ) zu, während radiologisch ein geringer mittlerer Höhenverlust von  $0,21 \pm 0,71$  mm ( $P = 0,0492$ ) erkennbar war.

Im Vergleich zum präoperativen DVT zeigte das DVT nach sieben bis 14 Tagen am Messpunkt 3 mm apikal des Knochenkamms eine mittlere horizontale Zugabe von Transplantatmaterial von 3,09 mm (Tabelle 1). Am Messpunkt 6 mm apikal betrug sie im Mittel 3,41 mm, 9 mm apikal waren es 2,93 mm und 12 mm apikal nur noch 1,70 mm. Der Unterschied zwischen den DVT-Messwerten nach sieben bis 14 Tagen und den DVT-Messwerten nach sechs Monaten (Endkontrolle) entsprach der Menge des während der Heilung resorbierten bzw. verlagerten Transplantatmaterials. Die mittlere Resorption/Verlagerung des horizontal in die Defekte eingebrachten Transplantatmaterials betrug 3 mm apikal des Kamms 1,4 mm (51,8 %), 6 mm apikal 1,48 mm (33,7 %), 9 mm apikal 1,66 mm (58,1 %) und 12 mm apikal

1,22 mm (59,4 %) (Tabelle 1). Diese Messungen entsprechen jeweils einem statistisch signifikanten Verlust von Transplantatmaterial während der Einheilung ( $P = 0,0000$ ).

Radiologisch war die Knochenhöhe sieben bis 14 Tage postoperativ durch das Transplantat im Mittel um  $0,18 \pm 0,74$  mm ( $P = 0,0934$ ) gegenüber dem präoperativen Wert angestiegen, während der Höhenverlust während der Einheilungsphase bei  $0,39 \pm 0,58$  mm (Bereich: -2,45 bis 0,36) lag. Dies entspricht einer vollständigen Resorption des eingebrachten Transplantatmaterials und einer geringen zusätzlichen Alveolarkammresorption ( $P = 0,0000$ ).

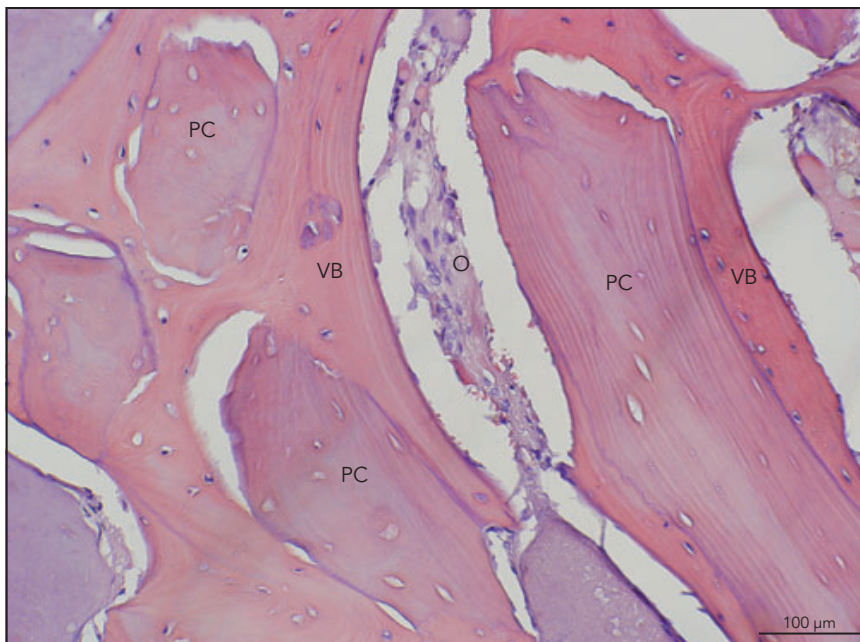
Die Pearson-Korrelation ergab für alle klinischen und radiologischen Messungen keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Menge des eingebrachten Transplantatmaterials und dem Anteil des während der Einheilung resorbierten bzw. verlagerten Transplantatmaterials ( $P = 0,0635$  bis  $P = 0,8142$ ). Die MANOVA ermittelte für die Änderung der klinischen oder radiologischen Alveolarkambbreite abhängig vom Studienzentrum, von Alter und Geschlecht des Patienten, Länge des Operationsbereichs, Defektlage im Front- bzw. Seitenzahnbereich oder Ober- bzw. Unterkiefer keinen signifikanten Unterschied. Lediglich die radiologische Breite des Alveolarkamms nahm in einem Abstand von 9 mm zum Knochenkamm im Oberkiefer im Vergleich zum Unterkiefer statistisch signifikant stärker zu ( $P = 0,0047$ ). Die histomorphometrische Untersuchung der 10 Knochenzylinder ergab durchschnittlich 58,8 % neugebildeten Knochen (Bereich: 27,5 bis 94,4 %), 12 % residuelle spongiöse Allograft-Partikel (Bereich: 0 bis 24,79 %) und 30 % nicht mineralisiertes Gewebe (Bereich: 5,6 bis 47,8 %) (Abb. 12).



**Tabelle 1** Änderungen der klinischen und radiologischen Alveolarkammbreite\*

Alveolarkammbreite	Mittlere Änderungen gegenüber dem Ausgangswert (mm)	SA	P	Mittlere Änderungen gegenüber dem Ausgangswert (%)	Mittlere Menge des eingebrachten Transplantatmaterials (mm)	SA
Klinische Änderungen (n = 44)	2,61	1,80	0,0000	102,2	7,73	2,21
Radiologische Änderungen						
3 mm apikal (n = 48)	1,65	1,57	0,0000	36,8	3,09	1,48
6 mm apikal (n = 48)	1,93	1,40	0,0000	35,2	3,41	1,48
9 mm apikal (n = 48)	1,27	1,46	0,0000	22,6	2,93	2,00
12 mm apikal (n = 45)	0,48	1,26	0,0142	7,6	1,70	2,06

\*Die Abweichung von n bei den klinischen und radiologischen Messungen entsteht dadurch, dass bei einigen Patienten zwar die finale DVT erfolgte, sie aber keiner Implantation zustimmten. Bei drei Patienten war die radiologische Messung 12 mm apikal des Knochenkamms nicht möglich.  
SA: Standardabweichung.



**Abb. 12** Histologie eines Knochenzylinders mit neugebildetem vitalem Knochen (VB), residuellem partikuliertem Spongiosa-Allograft (PC) und nicht mineralisierten „anderen“ Geweben (O).

Mittlerer Anteil des während der Heilung resorbierten/remodellierten Transplantatmaterials (mm)	SA	P	Mittlerer Anteil des während der Heilung resorbierten/remodellierten Transplantatmaterials (%)
5,20	2,24	0,0000	66,6
1,44	1,30	0,0000	51,8
1,48	1,36	0,0000	33,7
1,66	1,44	0,0000	58,1
1,22	1,62	0,0000	59,4

## Diskussion

Die Ergebnisse dieser Multicenter-Studie zeigen, dass die laterale Alveolarkammaugmentation mit einer bovinen Perikardmembran und einem partikulierten mineralisierten Spongiosa-Allograft vorhersagbar dazu geeignet ist, den Alveolarkamm vor einer Implantation zu verbreitern. Dabei wird eine statistisch signifikante mittlere Zunahme der klinischen Alveolarkammbreite um 2,61 mm erreicht. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen anderer Studien zur lateralen Alveolarkammaugmentation<sup>22-26</sup>. Wie erwartet, fiel die mittlere Zunahme der radiologisch gemessenen Alveolarkammbreite an den Messpunkten 3 und 6 mm apikal des Kamms stärker aus als an den Punkten 9 und 12 mm, da der Defekt koronal am größten war und daher dort auch am meisten Transplantatmaterial eingebracht wurde. Die klinischen Daten belegen eine stärkere mittlere Zunahme der Alveolarkammbreite als die radiologischen Daten. Für diese relativen Unterschiede gibt es mehrere mögliche Erklärungen. Für die radiologische Untersuchung wurden

fixe Referenzpunkte verwendet, wie der Kanal des N. alveolaris inferior und der Boden der Nasenhöhle, um sicherzustellen, dass die Messungen an den beiden DVT-Scans immer an denselben Punkten erfolgen. Im Bereich des größten bukkolingualen Alveolarkammdefekts wurde an der Schablone entlang der Okklusalfäche ein röntgendichter Marker als radiologischer und klinischer Referenzpunkt befestigt. Die Schablone wurde an einem Gipsmodell hergestellt; die bukkalen und lingualen Löcher lagen etwa 3 mm apikal der angenommenen Alveolarkammhöhe über dem größten Alveolarkammdefekt. Allerdings befanden sich die zum Operationszeitpunkt angelegten Löcher in der Schablone nach Lappenmobilisierung nicht immer exakt 3 mm apikal des Alveolarkamms. Dadurch war der direkte Vergleich der klinischen und radiologischen Messungen 3 mm apikal des Knochens in gewisser Weise ungenau. Außerdem wurde die Schablone auf ein offenes Operationsfeld gelegt, das sich oft im hinteren Seitenzahnbereich befand, wo der Zugang und die Sicht für die Messung mit einem Messschieber begrenzt waren.

Der mittlere Anteil des resorbierten oder verlagerten Materials betrug klinisch 66,6 % und radiologisch abhängig von der Messhöhe 33,7 bis 59,4 %. Die Änderungen des Knochen Volumens durch die Verlagerung oder Resorption des Transplantatmaterials während der Einheilung beruhen auf den nicht raumerhaltenden Eigenschaften mancher Defekte. Nachdem das Knochen transplantat und die Membran vor dem Lappenschluss eingesetzt worden waren, ließen sich die Messschieber für die klinische Messung nur noch schwer akkurat platzieren. Ein zu kraftvoller Schluss der Messschieber kann die Spitze des Instruments in die Membran und das Transplantatmaterial treiben, sodass die eingebrachte Transplantatmenge als zu gering eingestuft wird. Wird der Messschieber umgekehrt mit zu wenig Kraft über Membran und Transplantat geschlossen, wird die eingebrachte Transplantatmenge überschätzt. Eine gewisse Verlagerung des Transplantatmaterials ist beim abschließenden Lappenschluss und der Naht möglich. Da die radiologischen Messungen mithilfe bestimmter fixer radiologischer Referenzpunkte erfolgten, dürften sie



die eingebrachte Transplantatmenge nach Ansicht der Autoren realistischer wiedergeben. Allerdings kann die radiologische Messung von partikulierten Knochentransplantaten gewissen Ungenauigkeiten unterliegen – selbst wenn sie mineralisiert sind.

Histomorphometrisch fand sich bei der Wiedereröffnung ein hoher Anteil (58 %) von vitalem Knochen. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den histologischen Ergebnissen von Studien mit anderen humanen Allotransplantaten und Puros-Spongiosapartikeln beim Sinuslift<sup>27–29</sup>. Allerdings wurden nur in einem einzelnen Studienzentrum 10 Biopsiezylinder entnommen, sodass die Ergebnisse für die gesamte Gruppe der 44 Läsionen nicht unbedingt repräsentativ sein muss.

Derzeit ist unbekannt, ob die Menge des Knochentransplantats, das bei einem GBR-Verfahren eingebracht wird, Auswirkungen auf die Gesamtzunahme der Alveolarkambbreite oder auf die Menge des Transplantatmaterials hat, das während der Einheilung verlagert oder resorbiert wird. Bei GBR-Verfahren wird in der Regel so viel Transplantatmaterial eingebracht, dass der Alveolarkamm eine ausreichende Knochenmenge für die Aufnahme eines Implantats der gewünschten Größe hat, damit es nach der Heilung bukkal und lingual vollständig in den Knochen integriert ist. Anschließend wird noch etwas Material dazugegeben, um die mögliche Resorption und Verlagerung während der Einheilung auszugleichen. Es ist nicht bekannt, ob es einen Schwellenwert gibt, von dem ab die weitere Zugabe von Transplantatmaterial keine positiven Auswirkungen mehr auf die endgültige Breite des Alveolarkamms hat. In dieser Studie wurde keine signifikante Korrelation zwischen der Transplantatmenge, die bei der Operation eingebracht wurde, und dem während der Einheilung resorbierten oder verlagerten Anteil

festgestellt. Somit wird vermutlich keine kontinuierliche Expansion der endgültigen Alveolarkammdimension erreicht, wenn immer mehr Transplantatmaterial zusätzlich in den Defekt eingebracht wird.

### Interessenerklärung

Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

### Literatur

- Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: A clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:313–323.
- Heggeler JM, Slot DE, Van der Weijden GA. Effect of socket preservation therapies following tooth extraction in non-molar regions in humans: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:779–788.
- Isella JM, Greenwell H, Miller RL, et al. Ridge preservation with freeze-dried bone allograft and a collagen membrane compared to extraction alone for implant site development: A clinical and histologic study in humans. *J Periodontol* 2003;74:990–999.
- Nevins M, Camelo M, De Paoli S, et al. A study of the fate of the buccal wall of extraction sockets of teeth with prominent roots. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:19–29.
- Darby I, Chen S, Buser D. Ridge preservation techniques for implant therapy. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl):260–271.
- Hoang T, Mealey BM. Histologic comparison of healing after ridge preservation using human demineralized bone matrix putty with one versus two different-sized bone particles. *J Periodontol* 2012;83:174–181.
- Wood R, Mealey BM. Histologic comparison of healing after tooth extraction with ridge preservation using mineralized versus demineralized freeze-dried bone allograft. *J Periodontol* 2012;83:329–336.

- Beck T, Mealey BM. Histologic analysis of healing after tooth extraction with ridge preservation using mineralized human bone allograft. *J Periodontol* 2010;81:1765–1772.
- Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
- Mecall RA, Rosenfeld AL. The influence of residual ridge resorption and patterns on fixture placement and tooth position. Part III: Presurgical assessment of ridge augmentation requirements. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1996;16:322–337.
- Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: Anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19(suppl):43–61.
- Simion M, Jovanovic SA, Tristi P, Scarano A, Piattelli A. Vertical ridge augmentation around dental implants using a membrane technique and autogenous bone or allografts in humans. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1998;18:9–23.
- Linde A, Alberius P, Dahlin C, Bjurström K, Sundin Y. Osteopromotion: A soft-tissue exclusion principle using a membrane for bone healing and bone neogenesis. *J Periodontol* 1993;64(11, suppl):1116–1128.
- Quereshy FA, Dhaliwal HS, El SA, Horan MP, Dhaliwal SS. Resorbable screw fixation for cortical onlay bone grafting: A pilot study with preliminary results. *J Oral Maxillofac Surg* 2010;68:2497–2502.
- Buser D, Dula K, Hess D, Hirt HP, Belser UC. Localized ridge augmentation with autografts and barrier membranes. *Periodontol* 2000 1999;19:151–163.
- Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: Clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl):218–236.
- Hammerle CH, Karring T. Guided bone regeneration at oral implant sites. *Periodontol* 2000 1998;17:151–175.
- Buser D, Bragger U, Lang NP, Nyman S. Regeneration and enlargement of the jaw bone using guided bone regeneration. *Clin Oral Implants Res* 1990;1:22–32.
- Hammerle CH, Jung RE. Bone augmentation by means of barrier membranes. *Periodontol* 2000 2003;33:36–53.

- 
20. Bunyaratavej P, Wang HL. Collagen membranes: A review. *J Periodontol* 2001;72: 215–229.
21. Zitzmann NU, Naef R, Scharer P. Resorbable versus non-resorbable membranes in combination with Bio-Oss for guided bone regeneration. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997;12:844–852.
22. Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: Clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl):218–236.
23. Buser D, Dula K, Hirt HP, Schenk RK. Lateral ridge augmentation using autografts and barrier membranes: A clinical study with 40 partially edentulous patients. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54:420–432.
24. Lyford R, Mills MP, Knapp CL, Scheyer ET, Mellonig JT. Clinical evaluation of freeze-dried block allografts for alveolar ridge augmentation: A case series. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23: 417–425.
25. Vercellotti T. Piezoelectric surgery in implantology: A case report—A new piezoelectric ridge expansion technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000; 20:358–365.
26. Proussaefs P, Lozada J. The use of introrally harvested autogenous block grafts for vertical alveolar ridge augmentation. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005; 25:351–363.
27. Cammack GV II, Nevins M, Clem DS III, Hatch JP, Mellonig JT. Histologic evaluation of mineralized and demineralized freeze-dried bone allograft for ridge and sinus augmentations. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:231–237.
28. Froum SJ, Wallace SS, Elian N, Cho SC, Tarnow DP. Comparison of mineralized cancellous bone allograft (Puros) and anorganic bovine bone matrix (Bio-Oss) for sinus augmentation: Histomorphometry at 26 to 32 weeks after grafting. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26: 543–551.
29. Noubissi SS, Lozada JL, Boyne PJ, et al. Clinical, histological, and histomorphometric evaluation of mineralized solvent-dehydrated bone allograft (Puros) in human maxillary sinus grafts. *J Oral Implantol* 2005;31:171–179.
- 