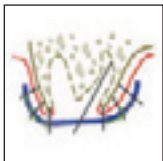


Augmentation einer Extraktionsalveole im Seitenzahnbereich des Oberkiefers, um die Notwendigkeit eines Sinuslifts zu reduzieren



Giulio Rasperini, DDS¹

Luigi Canullo, DDS, PhD²

Claudia Dellavia, DDS, PhD³

Gaia Pellegrini, DDS⁴

Massimo Simion, MD, DDS⁵

In dieser Studie wurden die dimensionalen Veränderungen, die Notwendigkeit eines Sinuslifts und die histologische Wundheilung von augmentierten und nicht augmentierten Extraktionsalveolen verglichen. 16 humane Extraktionsalveolen wurden entweder augmentiert oder nach der Extraktion unbehandelt gelassen (Kontrolle). In der Ausgangssituation sowie drei und sechs Monate nach der Extraktion wurden die Veränderungen des Alveolarkamms untersucht. Nach drei, sechs und neun Monaten wurden histologische Analysen durchgeführt. Nach sechs Monaten wurde über die Implantatinsertion mit oder ohne Sinuslift entschieden. Bei drei der acht Patienten in der Kontrollgruppe erfolgte ein Sinuslift. In der Testgruppe war bei einem von sechs Patienten ein Sinuslift notwendig. Mit der hier vorgestellten Augmentation des Alveolarkamms ist es möglich, Implantate zu inserieren, ohne dass ein Sinuslift erfolgen muss. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2010;30:257–265.)

¹ Nebenamtlicher Professor, Unit of Periodontology, Dental Clinic, Department of Surgical, Reconstructive and Diagnostic Sciences, Universität Mailand, Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico, Mangiagalli e Regina Elena, Mailand, Italien.

² Doktorand, Universität Bonn, Deutschland; Privatpraxis, Rom, Italien.

³ Nebenamtlicher Professor, Department of Human Morphology and Biomedical Sciences, Città Studi, Università degli Studi di Milano, Mailand, Italien.

⁴ Doktorand, Department of Human Morphology and Biomedical Sciences, Città Studi, Università degli Studi di Milano, Mailand, Italien.

⁵ Nebenamtlicher Professor, Unit of Periodontology, Dental Clinic, Department of Surgical, Reconstructive and Diagnostic Sciences, Universität Mailand, Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico, Mangiagalli e Regina Elena, Mailand, Italien; Nebenamtlicher Professor, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

Korrespondenz an: Dr. Giulio Rasperini, Via xx Settembre, 119 I-29100 Piacenza, Italien; Fax: +39 (0523) 335523; E-Mail: giulio.rasperini@unimi.it

Nach einer Zahnextraktion findet im Alveolarknochen ein Remodelling statt, das zu einer Reduzierung des Knochenvolumens führt^{1,2}. Bei einer verzögerten Implantatinsertion im Seitenzahnbereich des Oberkiefers ist dann eventuell ein Sinuslift erforderlich, um die Knochenhöhe zu verbessern. Schon bei der Extraktion sollte ein regeneratives Verfahren in Betracht gezogen werden, um einem dreidimensionalen Knochenabbau vorzubeugen^{3,4}. In Humanstudien wurde für die Ridge Preservation die Verwendung von anorganischen bovinen Knochenpartikeln (Bio-Oss, Geistlich, oder Bio-Oss Kollagen, Geistlich) in frischen Extraktionsalveolen vorgeschlagen^{5,6}. In Tierstudien wurden die Auswirkungen von Bio-Oss Collagen auf die Heilung von Extraktionsalveolen untersucht. Es wurde festgestellt, dass das implantierte Material dem Kollaps der Alveolenwände vorbeugt. So wird der Abbau des Alveolarkamms vorübergehend ausgeglichen⁷⁻¹⁰. In einer Humanstudie¹¹ wurde die Menge des neugebildeten Knochens nach der Insertion von Bio-Oss Collagen in Extraktionsalveolen nach sechs Wochen histologisch untersucht. Es wurden allerdings keine dimensional Veränderungen festgestellt und der Heilungszeitraum war recht kurz. Nevins

et al.¹² untersuchten die Resorption des Alveolarknochens in Extraktionsdefekten im Frontbereich des Oberkiefers, die mit Bio-Oss augmentiert worden waren. In einer CT-Untersuchung wurde gezeigt, dass 79 % der augmentierten Bereiche weniger als 20 % Verlust des bukkalen Knochens aufwiesen. Von den nicht augmentierten Bereichen zeigten 71 % einen Verlust der bukkalen Wand von mehr als 20 %. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass der Erhalt der bukkalen Wand und der Kammmorphologie signifikant zum Erhalt des ursprünglichen Knochen volumens beiträgt. In früheren Studien wurden die histologischen und klinischen Veränderungen der humanen Extraktionsalveole nach einer Augmentation mit deproteiniertem bovinem Knochenmineral untersucht^{6, 13, 14}. In keiner Studie wurden allerdings der Heilungsverlauf und die dimensional en Veränderungen im Alveolarkamm nur im Molarbereich des Oberkiefers untersucht. Dieser Bereich weist aufgrund der Nähe zur Kieferhöhle und der Morphologie der Molare anatomische und strategische Besonderheiten auf.

Die Ziele dieser randomisierten klinischen Multicenter-Studie mit parallelen Gruppen umfassten: (1) Vergleich der mittel- und langfristigen dimensional en Veränderungen im oberen Molarbereich des Alveolarkamms nach einer Extraktion mit bzw. ohne Augmentation mit Bio-Oss Collagen, (2) Feststellung, ob ein Sinuslift für die Insertion von Implantaten nach einer Zahnextraktion notwendig ist bzw. ob ein Verfahren zur Ridge Preservation ausreichte, und (3) Untersuchung der histologischen Wundheilung.

Material und Methode

In zwei Zentren wurden 16-Patienten (Nichtraucher) in die Studie aufgenommen und behandelt. Bei allen war die Extraktion eines parodontal beeinträchtigten ersten oder zweiten oberen Molars erforderlich. Die Ausschlusskriterien lauteten:

- Alter unter 18 Jahren
- Vorliegen einer systemischen Erkrankung oder einer Störung des Knochenstoffwechsels
- Schwangerschaft
- Bösartige Krankheit, Strahlen- oder Chemotherapie wegen eines Tumors in den vergangenen fünf Jahren
- Vorliegen einer periapikalen Pathologie oder Eiterung
- Full-Mouth-Plaque-Score und Full-Mouth-Bleeding-Score von mehr als 25 %
- Früherer Parodontaleingriff im Extraktionsbereich.

Alle Studienteilnehmer gaben schriftlich ihre Einwilligung nach Information.

Randomisierung

Die unterschiedlichen Behandlungsprotokolle wurden den Teilnehmern in ausgeglichenen zufälligen permutierten Blöcken zugewiesen. Sie wurden dem Chirurgen unmittelbar nach der Zahnextraktion mitgeteilt. Um die Möglichkeit von ungünstigen Unterschieden zwischen der Test- und der Kontrollgruppe bei den wichtigsten prognostischen Faktoren zu reduzieren, wurden bei der Randomisierung die folgenden Variablen berücksichtigt: erster oder zweiter Molar und Vorhandensein von Nachbarzähnen.

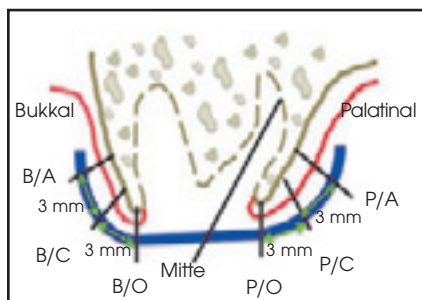


Abb. 1 (links) Schematische Darstellung einer Alveole nach der Zahnextraktion. Es wurde eine Kunststoffschiene (blau) angefertigt, um die standardisierte Insertion der Sonde zu ermöglichen. In den Positionen B/A, B/C, P/A und P/C wurden Mini-Röhrchen (schwarze Linien) inseriert, durch die eine Parodontalsonde hindurchpasste. Nach der Zahnextraktion wurden Metallröhrchen (gestrichelte schwarze Linien) in den Positionen B/O, Mitte und P/O in die Schiene inseriert und mit Kunststoff fixiert. In der Ausgangssituation sowie 3 und 6 Monate nach dem Eingriff wurden vom Knochen zur äußeren Oberfläche der Schiene blind die Messungen durchgeführt.



Abb. 2 (rechts) Klinisches Foto eines Testbereichs mit der angelegten Schiene 6 Monate nach der Extraktion.

Messungen

Vor der Extraktion erfolgte eine Abformung mit einem irreversiblen Hydrokolloid-Material. Ein Zahntechniker entfernte den entsprechenden Zahn aus dem Modell und fertigte eine Kunststoffschiene an (Abb. 1 und 2). Sie enthielt kieferorthopädische Mini-Röhrchen, durch die eine Parodontalsonde inseriert werden konnte. Die vier Röhrchen befanden sich in den folgenden Positionen: bukkales apikales Drittel (B/A), bukkal: koronales Drittel (B/C), palatinal: koronales Drittel (P/C) und palatinal: apikales Drittel (P/A). Nach der Extraktion, aber vor der Augmentation, wurden von einem verblindeten Untersucher drei Röhrchen in die Schiene inseriert und in den folgenden Positionen fixiert: bukkaler/okklusaler Winkel (B/O), okklusale Oberfläche gegenüber dem tiefsten Punkt der Extraktionsalveole (Mitte) und palatinaler/okklusaler Winkel (P/O). Unmittelbar nach der Extraktion sowie drei und sechs Monate nach dem Eingriff positionierte ein verblindeter Untersucher die

Schiene. Er inserierte eine Parodontalsonde (PCP UNC-15 Hu-Friedy) oder eine endodontische Feile (bei Messungen > 15 mm) in die Mini-Röhrchen und nahm vom Knochen zur äußeren Oberfläche folgende Messungen vor: B/A, B/C, B/O, Mitte, P/O, P/C und P/A (Abb. 1).

Chirurgisches Vorgehen

Vor dem Eingriff erhielten alle Patienten eine professionelle Zahnreinigung und Anweisungen zur Beseitigung von infektiösen Komplikationen. Die Zahnextraktion erfolgte mikroinvasiv. Gegebenenfalls wurden die Wurzeln mit einem Bohrer getrennt und einzeln entfernt. Die Alveole wurde von unten bis zum Gingivarand sorgfältig kürettiert. Das Sulkusepithel wurde dabei gründlich gereinigt. In den Testbereichen wurde die Alveole mit Bio-Oss Collagen augmentiert. Es wurden keine Lappen präpariert und die Alveole wurde nur mit einer Bio-Gide Membran abgedeckt. In den Kontrollbereichen blieb die Alveole

unbehandelt. Sowohl die Test- als auch die Kontrollbereiche wurden nicht vollständig abgedeckt und mit einer nicht resorbierbaren 5.0 Gore-Tex-Naht verschlossen. Sechs Monate nach dem Eingriff wurden Röntgenaufnahmen gemacht. In Übereinstimmung mit Geurs et al.¹⁵ entschieden die Autoren dann, ob die Implantatinsertion mit oder ohne Sinuslift erfolgen sollte. In den Bereichen, in denen der vertikal noch vorhandene Knochen (wie anhand der Röntgenaufnahmen festgestellt) weniger als 8 mm dick war, wurde ein Sinuslift durchgeführt.

Statistische Analyse

Die Kalibrierung der verblindeten Untersucher erfolgte mit dreifachen Messungen vor Beginn der Studie. Die Variabilität zwischen den Zentren wurden anhand des Intra-Class-Korrelationskoeffizienten ausgewertet. Die Ergebnisse der Test- und der Kontrollgruppe sowie der Bereiche, in denen die bukkale Wand fehlte und in denen sie erhalten geblie-

Tabelle 1 Ausgangssituation: Verteilung und Eigenschaften der Defekte

	Kontrolle (n = 9)	Test (n = 7)
Zahn		
Erster Molar	5	5
Zweiter Molar	4	2
Bukkale Wand		
Erhalten	4	7
Nicht erhalten	5	0

ben war, wurden analysiert. Die Wirksamkeitsparameter waren die Entscheidung für den Sinuslift vor der Implantatinserktion (in Abhängigkeit von der Knochenhöhe, die anhand der Röntgenaufnahmen nach sechs Monaten ermittelt worden war), und die Veränderungen des Knochen Volumens (ermittelt durch den Vergleich zwischen den Messungen für B/C, B/A, B/O, Mitte, P/O, P/A und P/C in der Ausgangssituation und nach drei sowie sechs Monaten). Die Endpunktunterschiede zwischen den Gruppen wurden mit dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test analysiert. Für die Daten, die die Implantatinserktion mit oder ohne vorherigen Sinuslift zeigten, wurde das Odds Ratio berechnet.

Histologische Analyse

Nach drei, sechs und neun Monaten wurde bei drei ausgewählten Patienten je ein histologisches Biopsat entnommen.

Unmittelbar vor der Implantatinserktion wurde mit einem Trepanbohrer aus der Mitte der Extraktionsalveole ein Knochenkern (2 mm Länge x 1 mm Durchmesser) entnommen und für die nicht dekalzifizierte Histologie präpariert. Die Biopsate wurden für 24 Stunden bei Zimmer-

temperatur in eine Lösung aus 10 % Formalin/0,1 mmol/l phosphatgepuffertem salinem Fixiermittel (pH 7,4) gegeben. Dann wurden sie routinemäßig in einer aufsteigenden Äthanolreihe dehydriert (von 70 % bis 100 %), mit Agitation und Vakuum infiltriert und in Kulzer Technovit 7200 VLC (Bio-Optica) eingebettet. Dann wurde jeder Block der Länge nach auf der bukkolingualen Ebene mit einer Diamantsäge (Micromet, Remet) durchgeschnitten. Die beiden zentralen Schnitte wurden auf eine endgültige Dicke von 40 µm geschliffen. Dabei wurde nach der von Donath und Breuner beschriebenen Technik¹⁶ vorgegangen. Die Einfärbung erfolgte mit Toluidinblau/Pyronin G (Sigma-Aldrich). Die Schnitte wurden mit einem Nikon Lichtmikroskop (Eclipse E600) untersucht, das mit einer kalibrierten Digitalkamera (DXM 1200, Nikon) ausgestattet war.

Ergebnisse

16 Patienten (Durchschnittsalter 54 Jahre) wurden in diese Studie aufgenommen. Die Verteilung der Zähne und der initialen Defekte ist in Tabelle 1 zu sehen. Sowohl in der Test- als auch in der Kontrollgruppe nahm ein Patient nicht an der Unter-

suchung nach drei Monaten und an der letzten Untersuchung teil. Die Analysen zu den einzelnen Zeitpunkten wurden in der Testgruppe an sechs Teilnehmern und in der Kontrollgruppe an acht Teilnehmern durchgeführt. Nach der Extraktion blieb bei fünf Patienten der Kontrollgruppe die bukkale Wand nicht erhalten. Nur bei vier Patienten dieser Gruppe blieb der gesamte Alveolarknochen erhalten (vierwandiger Defekt). In der Testgruppe blieben nach der Extraktion bei allen Patienten der gesamte Alveolarknochen und die bukkale Wand erhalten.

Nach drei und sechs Monaten zeigten die Daten zur Reduzierung der Alveolentiefe und zu den Veränderungen des Alveolarkammvolumens beim Vergleich zwischen den Messungen für Mitte, P/A, P/C, and P/O keine signifikanten Unterschiede zwischen der Test- und der Kontrollgruppe ($P > 0,05$). Für die Auswertung der Veränderungen des bukkalen Knochens wurden die vierwandigen und die bukkalen Wanddefekte separat analysiert.

Die vierwandigen Defekte der Kontrollgruppe zeigten einen andauernden vertikalen Knochenabbau (B/O: 3 Monate: -2,2 mm; 6 Monate: -5,7 mm) (Tabelle 2). Die Testbereiche hingegen zeigten eine stabile bukkale Knochenhöhe (B/O: 3 Monate: 2,7 mm; 6 Monate: 0,7 mm). Bei der Auswertung zeigten auch die Bereiche, in denen die bukkale Wand nicht erhalten geblieben war, eine stabile bukkale Knochenhöhe (B/O: 3 Monate: 1 mm; 6 Monate: 0,6 mm).

Histologische Auswertung

Nach drei, sechs und neun Monaten wurde jeweils ein Biopsat entnommen. In den Abbildungen 3 bis 7 sind die histologischen Ergebnisse

Tabelle 2 Durchschnittliche Veränderungen der Alveolarkammhöhe in der Test- und der Kontrollgruppe in der Ausgangssituation und nach 6 Monaten*

	B/O		Mitte		Sinus-lift	
	Initial	6 Mo.	Initial	6 Mo.	Ja	Nein
Test (n[†] = 6)						
∅ (min./max.)	14,3 (11/20)	0,7 (-5/8)	19,3 (15/24)	5,8 (2/9)	1	5
SA	3,3	5,6	3,3	2,4		
Kontrolle (vierwandig) (n[†] = 3)						
∅ (min./max.)	8,3 (6/12)	-5,7 (-1/-9)	20,7 (17/23)	6,7 (4/8)	1	2
SA	3,2	4,2	3,2	2,3		
Kontrolle (BWM) (N = 5)						
∅ (min./max.)	16,4 (13/23)	0,6 (-6/3)	19,8 (12/30)	5 (-1/10)	2	3
SA	4	3,9	7,8	4,5		

*Negative Angaben bedeuten einen Knochenabbau, positive Angaben eine Knochenzunahme.
[†]Ein Patient nahm nicht an der Auswertung nach 6 Monaten teil und wurde von der Analyse ausgeschlossen.
 B/O = bukkal/okklusal; SA = Standardabweichung; BWM = bukkale Wand nicht erhalten.

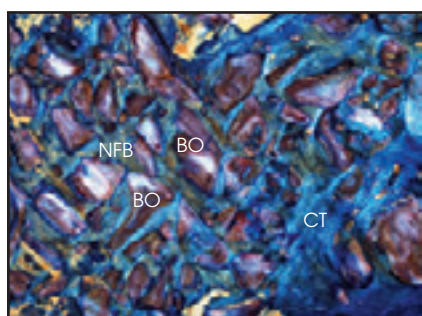


Abb. 3 (links) Mikroaufnahme unter polarisiertem Licht: augmentierte Alveole 3 Monate nach dem Eingriff. Eine große Menge Bio-Oss-Partikel (BO) ist im gesamten Biopsat von stark zellulärem fibrösem Bindegewebe (CT) umgeben. Im Bindegewebe und um die Knochenpartikel ist eine minimale Menge an neugebildetem Knochen (NFB) und kein entzündliches Infiltrat zu erkennen (Vergrößerung x 4).

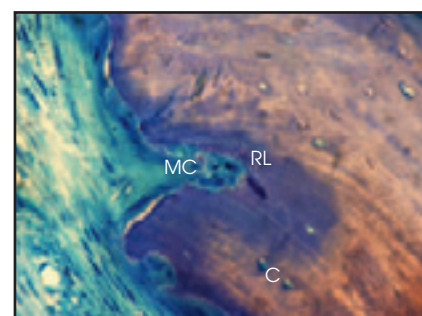


Abb. 4 (rechts) Stärkere Vergrößerung von Abb. 3: die Resorptionslakunen des Bio-Oss Collagen (RL) und die mehrkernigen Zellen (MC). Das Transplantatpartikel war von Zellen (C) besiedelt (Vergrößerung x 40).

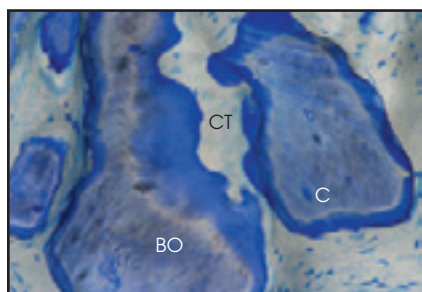


Abb. 5 Mikroaufnahme nach 6 Monaten: Bio-Oss-Collagenpartikel (BO) umgeben von zellulärem, stark vaskularisiertem und lockerem Bindegewebe (CT). Die Lakunen des implantierten Materials sind anscheinend von Wirtszellen (C) besiedelt. Es sind keine andauernde Resorption und kein entzündliches Infiltrat zu erkennen (Vergrößerung x 60).

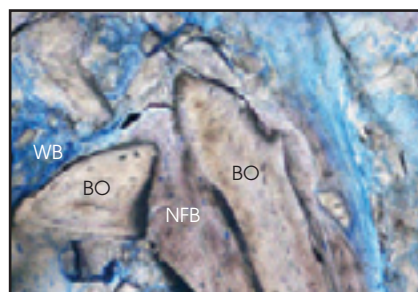


Abb. 6 Mikroaufnahme: die Knochenneubildung nach 9 Monaten. Neugebildeter Knochen (NFB) zieht sich durch das gesamte Biopsat. Das mineralisierte Gewebe ist hauptsächlich in Lamellenform organisiert. Auch geringe Mengen an Faserknochen (WB) sind zu erkennen. Die restlichen Bio-Oss-Collagenpartikel (BO) sind von neuem Knochen umgeben (Vergrößerung x 10).

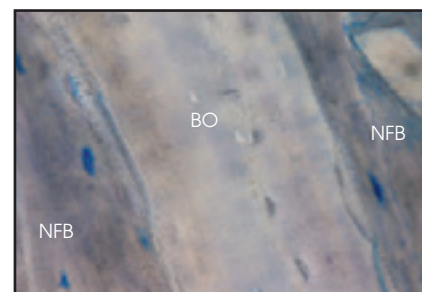


Abb. 7 Mikroaufnahme nach 9 Monaten: ein Bio-Oss-Partikel (BO) in Kontakt zum neugebildeten Lamellenknochen (NFB). Es ist kein Resorptionsbereich zu erkennen (Vergrößerung x 60).

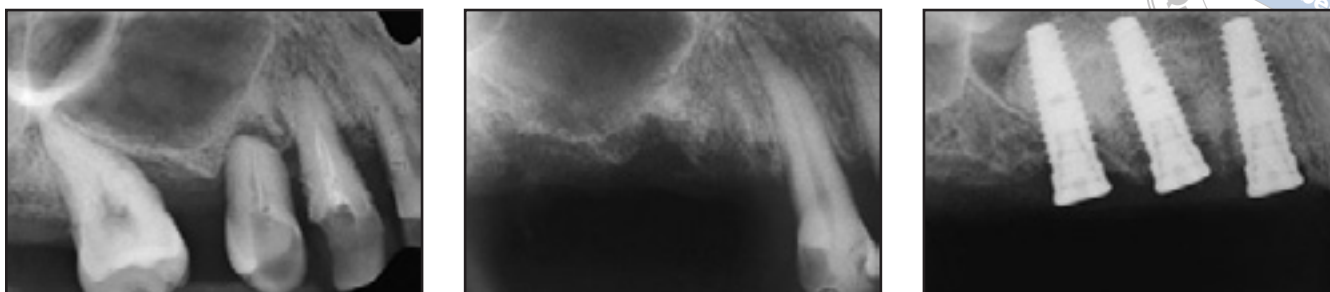


Abb. 8 Röntgenbilder eines Kontrollbereichs (links) vor der Zahnextraktion und (Mitte) nach 6 Monaten Heilung. Nach einem Sinuslift wurden Implantate inseriert (rechts).



Abb. 9 Röntgenbilder eines Testbereichs (links) vor der Zahnextraktion und (Mitte) nach 6 Monaten Heilung. (rechts) Die Implantate wurden ohne vorherigen Sinuslift inseriert.

dieser Biopsate zu sehen. Nach drei Monaten war noch eine große Menge Augmentationsmaterial zu sehen, das in stark zelluläres Bindegewebe eingebettet war. Es gab nur wenig neugebildeten Knochen. Nach sechs und neun Monaten war das Augmentationsmaterial im Wesentlichen umgebaut. Die restlichen Partikel standen in Kontakt zu neugebildetem Faser- und Lamellenknochen.

Implantatinsertion und Sinuslift

In der Testgruppe erfolgte bei einem Patienten ein Sinuslift, in der Kontrollgruppe bei drei Patienten (Tabelle 2). Bei den übrigen fünf

Patienten in der Test- und der Kontrollgruppe war für die Implantatinsertion keine weitere Behandlung erforderlich (Tabelle 2). Allerdings erhielten zum Ende der Studie nur vier Patienten der Test- und fünf Patienten der Kontrollgruppe Implantate (Abb. 8 und 9). Bei den übrigen Patienten wurde aus finanziellen Gründen keine Implantatbehandlung vorgenommen.

Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, die dimensional und histologischen Veränderungen in Extraktionsalveolen, die mit Bio-Oss Collagen augmentiert worden waren, mit

den Veränderungen in unbehandelten Extraktionsalveolen zu vergleichen. Außerdem wurde untersucht, ob ein Sinuslift für eine Implantatinsertion notwendig war. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen nahe, dass ohne Augmentation ein Sinuslift erforderlich war, weil der Knochenabbau in der vertikalen Dimension stärker war.

Der Erhalt der bukkalen Wand spielt anscheinend beim Remodeling des Alveolarkamms eine Rolle, besonders in augmentierten Bereichen. Die vierwandigen Defekte der Kontrollgruppe zeigten im Vergleich zur Testgruppe einen erheblichen bukkalen vertikalen Knochenabbau. In Tierstudien wurden die dimensional Veränderungen im

Alveolarkamm nach einer Extraktion analysiert^{17, 18}. Es wurden zwei Phasen des Remodellingprozesses beschrieben. In der ersten Phase wird der Bündelknochen umgebaut und durch neugebildeten Faserknochen ersetzt. Dies führt zu einer vertikalen Schrumpfung des Knochenkamms. In der zweiten Phase wird die bukkale Knochenwand umgebaut. Dies führt zu einer horizontalen und weiteren vertikalen Volumenreduzierung. In diesen Studien wurde auch beobachtet, dass der koronale Anteil der bukkalen Wand häufig nur aus Bündelknochen besteht. Dies könnte den stärkeren Abbau der bukkalen Wand erklären, der in den vierwandigen Kontrollbereichen festgestellt wurde.

In den Kontrollbereichen, in denen die bukkale Wand nicht erhalten geblieben war, war der Bündelknochen aufgrund einer Parodontalerkrankung nicht besonders fest. Dies erklärt das eingeschränkte Knochenremodelling, das in den Folgemonaten stattfand. Auch in den Testbereichen war die Veränderung in der vertikalen Dimension eingeschränkt, weil das biologische Füllmaterial, das die Wundheilung stabilisierte, der bukkolingualen Schrumpfung und dem Kollaps des darüberliegenden Weichgewebes vorbeugte. Außerdem bildete es ein Gerüst für die Knochenneubildung und enthielt osteoinduktive Proteine^{17, 19, 20}.

Eine Einschränkung der vorliegenden Studie liegt darin, dass das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein der bukkalen Knochenwand bei der initialen Randomisierung nicht berücksichtigt wurde. Deshalb wurden die Defekte in der bukkalen Knochenwand in der Testgruppe nicht untersucht. In mehreren Hundestudien ergab die Ridge Preservation mit Bio-Oss Collagen eine Einschränkung des Remo-

delling des Alveolarkamms⁷⁻¹⁰. Übereinstimmend wird berichtet, dass das implantierte Material das Knochenremodelling leicht beeinflusste. Allerdings wurde der Erhalt des Kammvolumens durch die Platzhalterfunktion und die Wundstabilisierung vorübergehend günstig beeinflusst.

In der vorliegenden Studie wurde der Heilungsprozess nur bei einer begrenzten Zahl von augmentierten Defekten histologisch untersucht. Die nicht augmentierten Extraktionsalveolen wurden nicht analysiert. Der Heilungsprozess in Extraktionsalveolen wurde allerdings in einer Hundestudie¹⁷ beschrieben. Die Dynamik der Knochenregeneration bei Hunden wurde mit der Regeneration, die bei Menschen beobachtet wurde, verglichen²¹. Bei der histologischen Untersuchung erschien der Heilungsprozess im augmentierten Alveolarkamm verzögert. Nach drei Monaten wurde nur eine geringe Menge an neugebildetem Knochen entdeckt, und das implantierte Material befand sich noch in einer Remodellingphase. Es war von Bindegewebe umgeben und von einer Schicht osteoblastenartiger Zellen bedeckt, anders als die unbehandelten Bereiche, die im Tiermodell¹⁷ untersucht wurden. Sie zeigten Bereiche mit Knochenmark und Geflechtknochen, die bereits durch Lamellenknochen ersetzt wurden. Nach sechs und neun Monaten waren noch implantierte Partikel zu sehen, die in den reifen neugebildeten Knochen integriert waren. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Humanstudien^{20, 22, 23} überein, in denen nach vier und sechs Monaten von einer begrenzten Menge an neugebildetem mineralisiertem Gewebe in augmentierten Defekten berichtet wurde, anders als in den unbehandelten Kontrolldefekten. Auch in anderen Studien wurde ge-

zeigt, dass das Augmentationsmaterial an einem partiellen Remodellingprozess beteiligt ist und dass das Remodelling Jahre dauert²⁴.

Nach der Zahnextraktion füllt normalerweise das Blutkoagulum den Defekt in der Alveole aus. Der entzündliche Prozess beginnt zunächst an der Knochenwand und setzt sich bis zur Mitte des Defekts fort. Danach setzen das Remodelling und das Modell ein²⁵. In der vorliegenden Studie füllte das Blutkoagulum in den augmentierten Defekten nur die Bereiche zwischen dem eingebrachten Material aus. Deshalb waren wohl weniger Zellen und Moleküle an den Heilungs- und Regenerationsprozessen beteiligt. Diese Hypothese wird durch Studien gestützt, in denen die Auswirkungen eines Gerüsts allein oder eines Gerüsts mit Blutplättchenwachstumsfaktor (PDGF) auf die Wundheilung und Geweberegeneration verglichen wurden^{26, 27}. Sie bewiesen, dass die parodontale Regeneration und der Knochenumbau verbessert werden, wenn der PDGF, der die Vermehrung und Rekrutierung des Alveolarknochens und der Zellen des parodontalen Ligaments stimuliert, mit einem Gerüst verbunden wird, das die Zellmigration und Wundstabilisierung erleichtert. Es sind allerdings noch weitere Studien zu früheren Zeitpunkten notwendig, um diese Hypothese zu bestätigen.

Außerdem kann das implantierte Biomaterial eine Fremdkörperreaktion auslösen, die anhand der mehrkernigen Riesenzellen zu beobachten ist, die die Oberfläche des Bio-Oss Collagen beschichten, wie bereits von Araújo et al.²⁸ festgestellt wurde. Diese Ereignisse können zu einem verzögerten Knochenbildungsprozess und einer unvollständigen Resorption der bovinen Knochenpartikel führen.

Schlussfolgerungen

Die Augmentation einer Extraktionsalveole erhöht die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Volumen des Alveolarkamms nach einer Zahnextraktion erhalten bleibt. Außerdem wird die Platzhalterfunktion eines eingebrachten Materials, das von einer Kollagenmembran bedeckt wird, bestätigt. Diese Verbesserung beim Erhalt der vertikalen Dimension im Seitenzahnbereich des Oberkiefers reduziert die Notwendigkeit eines Sinuslifts.

Danksagung

Die Autoren danken der Firma Geistlich dafür, dass sie die in dieser Studie verwendeten Materialien zur Verfügung gestellt hat.

Literatur

1. Carlsson GE, Thilander H, Hedegård B. Histologic changes in the upper alveolar process after extractions with or without insertion of an immediate full denture. *Acta Odontol Scand* 1967;25:21–43.
2. Petrokovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent* 1967;17:21–27.
3. Cardaropoli D, Cardaropoli G. Preservation of the postextraction alveolar ridge: A clinical and histologic study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008;28:469–477.
4. Iasella 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.
5. Artzi Z, Tal H, Dayan D. Porous bovine bone mineral in healing of human extraction sockets. Part 1: Histomorphometric evaluations at 9 months. *J Periodontol* 2000;71:1015–1023.
6. Jung RE, Siegenthaler DW, Hämmerle CH. Postextraction tissue management: A soft tissue punch technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:545–553.
7. Araújo M, Linder E, Wennström J, Lindhe J. The influence of Bio-Oss Collagen on healing of an extraction socket: An experimental study in the dog. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008;28:123–135.
8. Cardaropoli G, Araújo M, Hayacibara R, Sukekava F, Lindhe J. Healing of extraction sockets and surgically produced—augmented and non-augmented—defects in the alveolar ridge. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:435–440.
9. Fickl S, Zuhr O, Wachtel H, Stappert CF, Stein JM, Hürzeler MB. Dimensional changes of the alveolar ridge contour after different socket preservation techniques. *J Clin Periodontol* 2008;35:906–913.
10. Fickl S, Zuhr O, Wachtel H, Bolz W, Hürzeler MB. Hard tissue alterations after socket preservation: An experimental study in the beagle dog. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:1111–1118.
11. Heberer S, Al-Chawaf B, Hildebrand D, Nelson JJ, Nelson K. Histomorphometric analysis of extraction sockets augmented with Bio-Oss Collagen after a 6-week healing period: A prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:1219–1225.
12. 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.
13. Vance GS, Greenwell H, Miller RL, Hill M, Johnston H, Scheetz JP. Comparison of an allograft in an experimental putty carrier and a bovine-derived xenograft used in ridge preservation: A clinical and histologic study in humans. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:491–497.
14. Vasilic N, Henderson R, Jorgenson T, Sutherland E, Carson R. The use of bovine porous bone mineral in combination with collagen membrane or autologous fibrinogen/fibronectin system for ridge preservation following tooth extraction. *J Okla Dent Assoc* 2003;93:33–38.



15. Geurs NC, Wang IC, Shulman LB, Jeffcoat MK. Retrospective radiographic analysis of sinus graft and implant placement procedures from the Academy of Osseointegration Consensus Conference on Sinus Grafts. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001;21:517–523.
16. Donath K, Breuner G. A method for the study of undecalcified bones and teeth with attached soft tissues. The Säge-Schliff (sawing and grinding) technique. *J Oral Pathol* 1982;11:318–326.
17. Cardaropoli G, Araújo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 2003;30:809–818.
18. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
19. Nevins M, Mellonig JT. The advantages of localized ridge augmentation prior to implant placement: A staged event. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1994;14:96–111.
20. Molly L, Vandromme H, Quiryne M, Schepers E, Adams JL, van Steenberghe D. Bone formation following implantation of bone biomaterials into extraction sites. *J Periodontol* 2008;79:1108–1115.
21. Giannobile WV, Finkelman RD, Lynch SE. Comparison of canine and non-human primate animal models for periodontal regenerative therapy: Results following a single administration of PDGF/IGF-I. *J Periodontol* 1994;65:1158–1168.
22. Carmagnola D, Adriaens P, Berglundh T. Healing of human extraction sockets filled with Bio-Oss. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:137–143.
23. Becker W, Clokie C, Sennerby L, Urist MR, Becker BE. Histologic findings after implantation and evaluation of different grafting materials and titanium microscrews into extraction sockets: Case reports. *J Periodontol* 1998;69:414–421.
24. Skoglund A, Hising P, Young C. A clinical and histologic examination in humans of the osseous response to implanted natural bone mineral. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997;12:194–199.
25. Polimeni G, Xiropaidis AV, Wikesjö UM. Biology and principles of periodontal wound healing/regeneration. *Periodontol* 2000 2006;41:30–47.
26. Nevins M, Camelo M, Nevins ML, Schenk RK, Lynch SE. Periodontal regeneration in humans using recombinant human platelet-derived growth factor-BB (rhPDGF-BB) and allogenic bone. *J Periodontol* 2003;74:1282–1292.
27. Sarment DP, Cooke JW, Miller SE, et al. Effect of rhPDGF-BB on bone turnover during periodontal repair. *J Clin Periodontol* 2006;33:135–140.
28. Araújo M, Linder E, Lindhe J. Effect of a xenograft on early bone formation in extraction sockets: An experimental study in dog. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:1–6.