

Die Rehabilitation durch implantatgetragenen Zahnersatz in all seinen Indikationen erfährt eine immer größere Verbreitung, was dazu führt, dass auch immer häufiger in kompromittierten Kieferbereichen Implantate inseriert werden. Ohne ein ausreichendes knöchernes Fundament ist die Osseointegration allerdings gefährdet und es muss vor oder während der Implantation die Rekonstruktion des Alveolarkamms erfolgen. Leider sind die Augmentationstechniken meist komplex im Handling und somit auch fehleranfällig. Allerdings kann der Erfolg gesteigert und die Belastung des Patienten durch die Vereinfachung des Hartgewebsmanagement reduziert werden.

Augmentationstechniken für die Praxis

Autor: Dr. Tobias R. Hahn

Die Regeneration von Knochengewebe basiert auf folgenden Mechanismen (Abb. 1):^{11, 23, 45} Bei der Osteogenese kommt es durch die Verpflanzung von vitalen körpereigenen (autogenen) knochenbildenden Zellen zur Knochenneubildung. Der Prozess, der die Osteogenese auch ohne die Verpflanzung von Osteoblasten induziert, wird Osteoinduktion genannt. Unter dem Einfluss von Knochenmatrixproteinen, den sogenannten bone morphogenetic proteins (BMPs) differenzieren pluripotente mesenchymale Zellen in der näheren Umgebung des Knochendefekts in knochenbildende Zellen.

Unter Osteokonduktion versteht man die Implantation einer porösen Leitstruktur, in die das umgebende Knochengewebe hineinwachsen kann. Um diese langsam ablaufenden Prozesse der Knochenregeneration vor schnell einwachsenden gingivalen Epithel-



Abb. 2: Knochenfilter BoneTrap (Astra) mit aufgesetztem Stempel zur leichten Applikation des gesammelten Knochens. – Abb. 3: Periimplantär aufgelagerte Knochenspäne aus dem BoneTrap.

zellen zu schützen, wird das Wundgebiet mit einer mechanischen Barriere geschützt (guided boneregeneration, GBR). Dadurch kommt es zur gezielten Förderung der Proliferation potenziell regenerativer Zelltypen, wie z. B. Osteoblasten oder Zementoblasten.^{8, 13, 16, 17, 19} Diese Abläufe der Knochenregeneration müssen bei der Beurteilung der Defekte zur Auswahl der geeigneten Augmentationsme-

thode berücksichtigt werden. Grundsätzlich gilt, dass umso mehr Prozesse der Knochenheilung notwendig sind, je weniger Wände ein Defekt besitzt und je größer das zu augmentierende Volumen ist.

Wirkungsmechanismen

Für die knöcherne Regeneration bestehender Defekte werden Materialien unterschiedlichen Ursprungs verwendet (Tabelle 1). Hinsichtlich der Vitalität von verpflanzten Knochenzellen unterscheidet man zwischen Knochentransplantaten und Knochenimplantaten. Knochentransplantate bezeichnen frisch entnommenes, vitales Knochengewebe, Knochenimplantate sind dagegen grundsätzlich devitale Materialien organischen oder synthetischen Ursprungs.

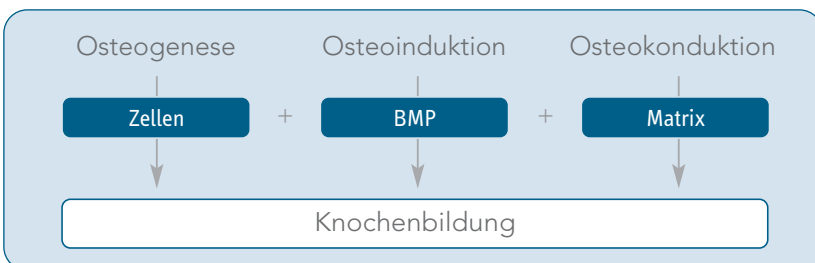


Abb. 1: Die Grundprinzipien der Knochenbildung.

DRUNTER UND DRÜBER

SUB- UND SUPRAGINGIVAL – DIE ORIGINAL METHODE AIR-FLOW
KENNT AB SOFORT KEINE GRENZEN

Zwei Anwendungssysteme in einem, klar getrennt. Auf der einen Seite das Perio-Handstück inklusive Perio-Düse und die Perio Pulverkammer. Auf der anderen Seite das Air-Flow Handstück und die Air-Flow Pulverkammer.

So präsentiert sich der neue Air-Flow Master. Immer perfekt vorbereitet auf sub- und supragingival. Und immer



> Die neuen Air-Flow Pulver für sub- und supragingivale Anwendungen

optimal mit Original Air-Flow Pulver. Und so genial einfach die Anwendungen, so einmalig einfach die Bedienbarkeit – touch'n'flow.

Grenzenlose Prophylaxe mit der ersten subgingival Prophylaxe - Einheit der Welt. Das ist die klare Ansage für die moderne Zahnarztpraxis.



Mehr Information unter www.ems-swissquality.com



Autogenes Knochentransplantat	Verpflanzung innerhalb desselben Individuums	BoneTrap
Allogenes Knochenimplantat	Verpflanzung zwischen Individuen derselben Spezies	Grafton
Xenogenes Knochenimplantat	Verpflanzung zwischen Individuen verschiedener Spezies	Bio-Oss
Alloplastisches Knochenimplantat	Vollsynthetische Herstellung eines Biomaterials	easy-graft

Tab. 1: Die Begriffe definieren die Beziehung zwischen Spender und Empfänger.^{23,41}

Bei autogenen (autologen) Knochen- transplantaten (Eigenknochen) wird das Gewebe vom gleichen Individuum entnommen. Aufgrund der Verpflanzung vitaler Osteoblasten stellen körpereigene Knochen- transplantate auch heute noch den goldenen Standard dar. Der Anteil vitaler Osteoblasten, welche für die Knochenregeneration in erster Linie verantwortlich sind, hängt sowohl von der Entnahmeregion, der Entnahmetechnik, der Lagerung als auch von der Qualität des Empfängergewebes ab. Allogene Implantate stammen von einem anderen Individuum der gleichen Spezies und enthalten keine vitalen Zellen. Im klinischen Alltag handelt es sich meist um humane Knochenimplantate, welche als Knochenpulver oder -späne angeboten werden und aufgrund ihrer Demineralisation die osteoinduktiv wirksamen BMPs abgeben (z. B. Grafton). Humane demineralisierte Knochenimplantate werden in der Regel komplett im Empfängerlager abgebaut und durch induzierten Empfängerknochen ersetzt. Xenogene Knochenimplantate stammen von einer anderen Spezies (z. B. Bio-Oss) und enthalten in der Regel keine organischen Anteile. Hier macht man sich die poröse Grundstruktur des Ausgangsgewebes als osteokonduktive Leitstruktur zunutze. Bei einem alloplastischen Knochenersatzmaterial handelt es sich entweder um vollsynthetisch hergestellte Biomaterialien (z. B. easy-graft) oder um xenogene Gewebarten bzw. Gerüstbausteine, welche einer ausgiebigen physikalischen oder chemischen Bearbeitung unterzogen wurden (z. B. Algipore).^{24,41}

Anwendung in der Praxis

Die autogene Knochen- transplantation ist in ihrer Wertigkeit allen alternativen Verfahren zur Defektfüllung unbestritten überlegen.²⁰

Hierbei werden lebende Knochenzellen und im Knochenmark befindliche mesenchymale Stammzellen übertragen. Für die Gewinnung stehen verschiedene Spenderregionen zur Verfügung (Kieferwinkel, Kinn, Beckenkamm). Das schonendste Verfahren besteht in der Sammlung des Bohrstaubes, der während der Implantation anfällt.⁹ Der große Nachteil der zusätzlichen Belastungen, wie die verlängerte Operationszeit sowie die Schaffung eines weiteren Operationsgebietes mit postoperativen Beschwerden und möglichen Komplikationen an der Entnahmeregion, entfällt durch die Nutzung eines Knochenfilters.^{25,46} Auch bei kurzen Implantaten mit kleinem Durchmesser – wenn wenig Bohrstaub anfällt – zeigt sich der Einmalfilter BoneTrap von Astra Tech als besonders effizient (Abb. 2). Er kann über die beiliegenden Adapter an jede gängige Absauganlage angeschlossen werden. Lediglich einem frühzeitigen Verstopfen sollte man durch ausreichendes Spülen des Filters mit Kühlmedium – zur Verhinderung der Bildung eines Blutkoagulum – vorbeugen. Nach der Entleerung eines vollen Knochenfilters ist dieser weiter zu verwenden. Durch einen Stempel lässt sich der

gesammelte Knochen direkt auf die zu augmentierende Region applizieren (Abb. 3), wodurch ein lästiges Auskratzen des Knochenfilters entfällt. Allerdings ist das hierbei für die Augmentation anfallende Volumen begrenzt und für große einwandige Defekte, bei denen zweizeitig vorgegangen werden muss, ungeeignet. Zur Abdeckung krestaler Dehiszenzen oder apikaler Fenestrationsen eignet sich das Material aus dem Knochenfilter hervorragend. Den Nachteil der partiellen sekundären Resorption autogener Knochen- transplantate (Abb. 4) gleicht bei der Verwendung eines Knochenfilters die zeitgleiche Implantation aus, wodurch der funktionelle Stimulus des Implantates die Resorption aufhält. Alternativ kann die sekundäre Resorption neben der Verwendung von Barrieremembranen insbesondere durch Untermischung von nicht resorbierbarem Knochenersatzmaterial (z. B. Bio-Oss) stark reduziert werden (Abb. 5).

Allogene humane Materialien

Als Alternative zur autogenen Knochen- transplantation oder zur zusätzlichen Augmentation von Eigenknochen können allogene humane Knochenimplantate verwendet werden.^{24,36} Humane Knochenimplantate in Pulverform oder als Knochen- späne sind ausnahmslos gefriergetrocknet. Dies führt zu einer Verringerung der Antigenität und macht die Materialien bei Raumtemperatur lagerfähig. Da humane Knochenersatzmaterialien keine vitalen Zellen beinhalten, geht von ihnen keine zelluläre Knochenbildung aus. Die Dekalzifizierung der Knochenmatrix im sauren Milieu bewirkt jedoch eine Freile-



Abb. 4: Partielle sekundäre Resorption nach der viermonatigen Einheilphase eines kortikospongiösen Beckenkammtransplantates durch Remodelling. – Abb. 5: Mischung von autologem Knochen aus dem Knochenfilter mit xenogenem Knochen (Bio-Oss) zur Erhöhung des Volumens und Reduktion der Resorption des Eigenknochens. – Abb. 6: Grafton – ein allogenes Knochenimplantat mit osteoinduktiven Eigenschaften.

Präzisions- Implantate

Made in Germany



- 0,7 mm maschinierter Hals
- Zervikale Makro Grooves verhindern Knochenabbau
- Bewährte gestrahlte geätzte Oberfläche
- Optimale Primärstabilität durch hohen Knochenkontakt
- Faires Preis-Leistungs-Verhältnis

Immer eine Idee besser

**IMProv™ –
Der eugenolfreie Zement
auf Acryl-Urethanbasis.**

- Voraussagbares Ergebnis
- Einfaches und sicheres Handling
- Zeitersparnis



Dentegris
DEUTSCHLAND GMBH
DENTAL IMPLANT SYSTEM

Dentegris Deutschland GmbH

Tel.: +49 211 302040-0

Fax: +49 211 302040-20

www.dentegris.de



Abb. 7: Erhöhung der osteoinduktiven Potenz eines Augmentationsgemisches aus Eigenknochen und Knochenersatzmaterial durch Hinzufügen von Grafton.

gung von BMPs in wirksamen Mengen. Diese BMPs lösen nach der Implantation von demineralisiertem humanen Knochen durch ihre lokale Diffusion in das Empfängerlager eine chemische Anlockung und Differenzierung pluripotenter mesenchymaler Zellen (Osteoinduktion) aus. Grafton ist ein demineralisiertes osteoinduktiv wirksames Knochenimplantat, dessen Gehalt an Kalziumphosphat unter 5 % Vol. beträgt und zur Erhöhung der Standfestigkeit mit Glycerol versetzt wird (Abb. 6). Das allogene Knochenersatzmaterial wird vollständig resorbiert und induziert die Bildung von neuem patienteneigenen Knochen, dessen biomechanische Stabilität mit der von autologem Knochen vergleichbar ist.¹² Grafton ist besonders als Putty (knetbare, kittähnliche Masse) sehr einfach zu verarbeiten und findet beim Sinuslift sowie bei periimplantären Augmentationen Verwendung. Es steigert vor allem dann die osteoinduktiven Eigenschaften eines Augmentates, wenn viel Knochenersatzmaterial und wenig Eigenknochen vorhanden sind (Abb. 7). Das Material ist in Deutschland als Arzneimittel zugelassen, virusinaktiviert und weist keine speziellen Kontraindikationen oder immunologisch bedingten Nebenwirkungen auf.^{33,37}

(Halb-)Synthetische Materialien

Da natürliche Knochenersatzmaterialien nur limitiert zur Verfügung stehen, ist der Einsatz synthetischer bzw. halbsynthetischer Knochenersatzmaterialien unumgänglich. Die Anwendung erscheint gerechtfertigt, wenn der im Rahmen der Osteokonduktion gebildete Knochen die biologische Wertigkeit von ortständigem Knochengewebe erreicht sowie die natürlichen biologischen Prozesse der Knochenheilung imitiert werden. Viele alloplastische

Knochenersatzmaterialien, insbesondere die Hydroxylapatite, sind jedoch nicht oder nur bedingt resorbierbar. Dies kann jedoch speziell in der Implantologie auch von Vorteil sein, da hierdurch die sekundäre Resorption des neugebildeten Knochens im Rahmen des physiologischen Remodellings verhindert wird. Da es heute trotz intensiver Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten keine Substanz gibt, welche die anspruchsvollen und umfangreichen Anforderungen an einen idealen Knochenersatz vollständig erfüllt, muss man bei der Wahl des Materials Kompromisse eingehen.^{11,41}

Wie bei allen osteokonduktiven Knochenersatzmaterialien beginnt die Knochenneubildung bei den keramischen Hydroxylapatiten an der Oberfläche des knöchernen Empfängerlagers. Hydroxylapatite sind in Abhängigkeit von ihrer Porosität, ihrer Kristallinität und ihrem Kristallgefüge weitgehend resorptionsstabil und sind in das physiologische Remodelling des Knochens nur bedingt mit einbezogen.^{15,35} Hydroxylapatite weisen eine sehr gute Biokompatibilität auf und können synthetisch hergestellt oder aus xenogenem Gewebe durch Sinterung gewonnen werden: Bio-Oss wird aus bovinem Knochen hergestellt und ist das am besten dokumentierte anorganische Knochenersatzmaterial. Durch thermische Behandlung wird der Rinderknochen von allen organischen Bestandteilen befreit. Nach der Implantation in Knochendefekte kommt es ab dem dritten postoperativen Tag durch Angiogenese zur Einsprossung von Kapillaren in das Augmentat. In der Folge wandern Osteoblasten ein, welche organische Knochenmatrix inklusive Kollagenfasern auf der Hydroxylapatitoberfläche ablagern. Es folgt die Mineralisation des Osteoids und die Bildung von Geflechtknochen.⁴² Wie



Abb. 8: Verbesserung der Revaskularisation durch Perforation der Kortikalis des Lagerknochens. – Abb. 9: Bio-Oss gemischt mit autogenem Knochen zur Reduktion der sekundären Resorption. – Abb. 10: Abdeckung des Augmentatkomplexes mit einer Bio-Gide Membran zur gesteuerten Knochenregeneration.

bei allen osteokonduktiven Knochenersatzmaterialien ist bei der Alveolarkammaugmentation mit Bio-Oss eine Anbohrung des Knochenlagers zum schnelleren knöchernen Durchbau der Granula sowie eine Abdeckung des Augmentates mit einer Barriere-membran erforderlich (Abb. 8–10).

Trikalziumphosphate

Neben den Hydroxylapatiten stellen die Trikalziumphosphate die wichtigste Gruppe der Knochenersatzmaterialien dar. Dabei sind Trikalziumphosphate weniger resorptionsstabil. Ihr Abbau erfolgt hauptsächlich durch Hydrolyse. Trotz guter Biokompatibilität werden teilweise entzündliche Reaktionen und Volumenverlust durch zu schnellen Zerfall bzw. Abbau beobachtet. Aufgrund der vollsynthetischen Herstellung sind Trikalziumphosphate unbegrenzt verfügbar und eine Übertragung von Krankheitserregern (z. B. Prionen) kann daher vollständig ausgeschlossen werden. Durch die Beschichtung von Beta-Trikalzium mit Polylaktid-co-Glykolid (easy-graft) wird die Anwendung der porösen Granula wesentlich vereinfacht. Die Zugabe eines Biolinkers (Pyrrolidon) führt zur Anlösung der Polylaktidschicht, wodurch sich die einzelnen Granula miteinander ver-

binden (Abb. 11). Die pastöse Masse lässt sich über eine Spritze direkt in den Defekt einbringen, was insbesondere das Auffüllen der Kieferhöhle beim Sinuslift sehr erleichtert (Abb. 12). Dort härtet das Augmentat durch Kontakt mit Blut und Körperflüssigkeiten aus, was die Luxation in die Kieferhöhle oder aus der Kieferhöhle heraus verhindert (Abb. 13). Auch die knöchernen Lamellen nach einem Bone-Splitting lassen sich hiermit hervorragend stabilisieren (Abb. 14). Häufig kann so auf den Einsatz einer Membran verzichtet werden.

Membranen

Die gesteuerte Knochenregeneration nutzt die Fähigkeit des Knochens, Hohlräume und Defekte an seiner Oberfläche rasch durch neugebildetes Knochengewebe zu regenerieren, wobei durch den Einsatz von Gewebearranger (Membranen, Folien) das schneller regenerierende Weichgewebe von einer vorzeitigen Auffüllung der Defekte oder Hohlräume abgehalten wird.

Die Notwendigkeit der zusätzlichen Verwendung von Füll- und Stützmaterialien im knöchernen Defektbereich selbst ist von der Größe und Form des Knochendefektes abhängig. Unter anderem dient der zusätzliche

Einsatz von Knochenersatzmaterialien als Spacer, um einen Kollaps der Membran zu vermeiden. Außerdem kommt es insbesondere bei größeren Defekten durch den osteokonduktiven Effekt von Füllmaterialien zu einer besseren periimplantären Hohlräumeauffüllung. Bei der Verwendung von anorganischen Knochenersatzmaterialien ist der Einsatz von Gewebearranger unerlässlich, da aufgrund der raschen Proliferation des bedeckenden Weichgewebes ansonsten mit einer bindegewebigen Einscheidung des Er-



Abb. 11: Bei easy-graft vernetzt die Zugabe von Pyrrolidon zu polylaktidbeschichteten Trikalziumphosphatgranula das Knochenersatzmaterial.

satzmaterials anstelle eines knöchernen Durchbaus zu rechnen ist. Nicht resorbierbares expandiertes Polytetrafluorethylen (e-PTFE) war das Material der ersten Membranen. Viele Untersuchungen haben die parodontale Regeneration mithilfe einer e-PTFE-Membran nachgewiesen.^{213,30} Allerdings sind nicht resorbierbare Membranen mit einigen Nachteilen behaftet: Zur Entfernung der Membran muss das Periost – meist weiter als bei der Lagerbildung oder Freilegung eines Implantates notwendig – abgelöst werden, wodurch es zur Knochenresorption kommt.³¹ Außerdem muss eine freiliegende nichtresorbierbare Membran infolge der bakteriellen Kontamination frühzeitig entfernt werden.^{38,44}

Resorbierbare Membranen aus Polylaktiden, Polyglykoliden oder Polyurethan weisen diese Nachteile zwar nicht auf, führen aller-

Bio-Gide	Geistlich	porkin Typ I und III Kollagen, Bilayer	nativ	2–4 Wochen
BioMend	Sulzer	bovin Typ I Kollagen, Achilles Sehne	Glutaraldehyd bovin	4–8 Wochen
BioMend Extend	Sulzer	bovin Typ I Kollagen, Achilles Sehne	Glutaraldehyd	6–12 Wochen
Ossix	3i	bovin Typ I Kollagen, Achilles Sehne	Polysaccharide	∞
Tutodent	Tutogen	bovin Typ I Kollagen, Perikard, Bilayer	nativ	8–16 Wochen

Tab. 2: Kollagenmembranen.³⁸



Abb. 12: Applikation des pastösen Augmentats (easy-graft) auf den Boden des Sinus maxillaris mit der Spritze. – **Abb. 13:** Das Augmentat kann mit dem Kugelstopfer modelliert werden – der Entzug von Pyrrolidon durch Blut führt zu einer Aushärtung, die eine Luxation ausschließt. – **Abb. 14:** Stabilisierung des Spaltes und der Knochenlamellen nach Bone-Splitting mit easy-graft.

dings bei ihrer Resorption zur Freisetzung von sauren Metaboliten mit einem negativen Einfluss auf die Knochenregeneration.^{14,18,22,26}

Resorbierbare Kollagenmembranen (Tabelle 2) weisen eine geringere Stabilität und Standzeit auf,⁴³ sind jedoch heute das Material der Wahl. Die Biodegradation durch Proteasen, Kollagenasen und Makrophagen kann durch Quervernetzung verzögert und die Stabilität erhöht werden.^{3,4,21,29,32,47}

Mit steigendem Vernetzungsgrad nimmt zwar die Standzeit zu, aber die Ernährung des Augmentates über Vaskularisation ab. Die Resorptionsdauer liegt je nach Produkt bei zwei bis vier Wochen (Bio-Gide), vier bis acht Wochen (BioMend, BioMend Extend) und acht bis sechzehn Wochen (Tutodent). Durch die chemische Quervernetzung mit Glutaraldehyd (BioMend, BioMend Extend) wird die Biokompatibilität verringert, was auf die Vernetzung mit nativem Kollagen und Polysacchariden nicht zutreffen soll (Bio-Gide, Ossix). Andererseits führt die Quervernetzung mit Glutaraldehyd zu einer biomechanischen Membranstabilisierung, welche im klinischen Alltag die Applikation z. T. wesentlich erleichtert. Die Exposition kollagener

Membranen verläuft unter klinischen Bedingungen komplikationslos, häufig kommt es zu einer Reepithelisierung, eine Membrantenfernung ist meist nicht notwendig (Abb. 15–17).

Fazit

Körpereigene Knochentransplantate stellen auch heute noch den goldenen Standard bei der Alveolarkammaugmentation dar. Größere Defekte bedürfen zwar kortikaler oder kortikospongioser Knochentransplantate, die meisten mehrwandigen oder kleinvolumigen Dehiszenzen und Fenestration lassen sich allerdings mit gesammeltem Knochen aus dem Knochenfilter aufbauen. Zu beachten ist die sekundäre Resorption der Transplantate durch das Remodelling, das mithilfe von resorptionsstabilem Hydroxylapatit gebremst werden kann. Zirkumskripte Defekte können mit Knochenersatzmaterialien – bevorzugt in Kombination mit Barrieremembranen – augmentiert werden. Wichtig ist die Perforation des umgebenden ortständigen Knochens, um einen schnellen Durchbau des Augmentates zu erzielen. Die

Erfahrung zeigt jedoch, dass es von Vorteil ist, möglichst alle drei Komponenten der Knochenregeneration, nämlich Osteoblasten (in Knochentransplantaten oder Knochenmehl), osteoinduktive Proteine (in demineralisiertem Knochen) und eine poröse Matrix (anorganische Knochenersatzmaterialien) als Leitstruktur und Spacer miteinander zu kombinieren. Die knochenbildenden Zellen dienen dabei als zentrale Ossifikationszentren. Sie bewirken, dass die Knochenneubildung nicht wie bei alleiniger Verwendung von Knochenersatzmaterialien nur von peripher erfolgt. Durch die Diffusion von BMPs aus demineralisierten Knochenimplantaten wird die Knochenbildung signifikant beschleunigt. Der Zusatz von anorganischem Knochenersatzmaterial (vorzugsweise Hydroxylapatit) dient als Spacer und soll eine sekundäre Resorption des augmentierten Bezirks vermeiden. Die zusätzliche Verwendung von Barrieremembranen (vorzugsweise aus Kollagen) verhindert eine bindegewebige Einscheidung des Augmentates vor der langsamer stattfindenden Ossifikation und dient gleichzeitig der Stabilisierung des Augmentates bis zur Verknöcherung. ◀

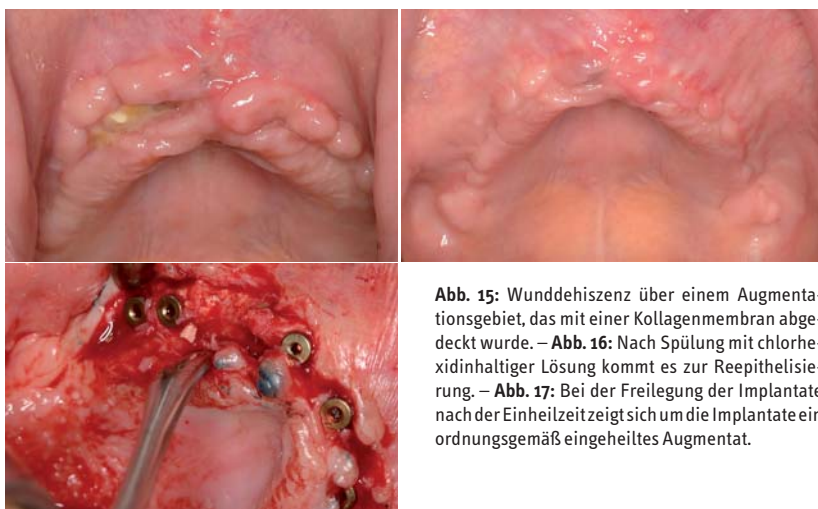


Abb. 15: Wunddehiszenz über einem Augmentationsgebiet, das mit einer Kollagenmembran abgedeckt wurde. – **Abb. 16:** Nach Spülung mit chlorhexidinhaltiger Lösung kommt es zur Reepithelisierung. – **Abb. 17:** Bei der Freilegung der Implantate nach der Einheilzeit zeigt sich um die Implantate ein ordnungsgemäß eingeheltes Augmentat.

Eine Literaturliste ist in der Redaktion unter zwpreaktion@oemus-media.de erhältlich.

kontakt

Dr. med. dent. Tobias R. Hahn
Gustavstraße 1a
42329 Wuppertal
E-Mail: tobias.hahn@wuppertaler-oralchirurg.de
www.wuppertaler-oralchirurg.de