

Horizontaler Knochenaufbau: Der Entscheidungsbaum



Jia-Hui Fu, BDS*
Hom-Lay Wang, DDS, MSD, PhD**

Mit der Implantation im Rahmen der Zahnmedizin wurden verschiedene Methoden zum Aufbau des Knochens entwickelt. Eine Zahnextraktion ist immer mit dem dreidimensionalen (3D-)Verlust von alveolärem Knochen verbunden. Dabei tritt häufiger ein horizontaler Verlust des Knochens auf als ein vertikaler. Dies hat zur Entwicklung verschiedener Methoden für eine horizontale Knochenaugmentation geführt, wie gesteuerte Knochenregeneration, Kammspreizung, Distractionsosteogenese und Blocktransplantation. Diese vorgeschlagenen Techniken zur Augmentation sind die Voraussetzung für eine prothetisch korrekte dreidimensionale Positionierung des Implantats. Aus der Literatur geht hervor, dass eine horizontale Kammaugmentation vorhersagbar ist, wenn bestimmte Kriterien erfüllt sind. Dennoch macht die große Anzahl an aktuell verfügbaren Techniken und Materialien die Wahl der geeigneten Behandlung nicht einfach. Eine Literatursuche wurde durchgeführt, um die Entscheidungsfindung bei der Planung eines horizontalen Kammaufbaus zu verbessern. Der in diesem Beitrag vorgeschlagene Entscheidungsbaum benutzt das im Implantatbereich verfügbare bukkolinguale 3D-Knochenvolumen ($\geq 3,5$ mm, $< 3,5$ mm oder 4 bis 5 mm). Für jedes Volumen werden Techniken unter Berücksichtigung von Faktoren wie Dicke der Gewebe, Position des Kieferbogens und die Verfügbarkeit an autologem Knochen einbezogen. Mithilfe des Entscheidungsbaums können die Kliniker die geeignetste und vorhersagbare Methode zur horizontalen Kammaugmentation finden, wobei unnötige Komplikationen minimiert werden. (Int J Periodontics Restorative Dent 2011;31:429-436.)

* Resident of Graduate Periodontics, Department of Periodontics and Oral Medicine, School of Dentistry, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.

** Professor und Direktor Graduate Periodontics, Department of Periodontics and Oral Medicine, School of Dentistry, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.

Korrespondenz an: Dr. Hom-Lay Wang, Department of Periodontics and Oral Medicine, University of Michigan School of Dentistry, 1011 North University Avenue, Ann Arbor, MI 48109-1078, USA; Fax: +1 (734) 936-0374; E-Mail: homlay@umich.edu

Mit dem Zahnverlust beginnt die Resorption, ein irreversibler und progressiver Prozess, der unausweichlich zu einem Höhen- und Breitenverlust des Alveolarkamms führt^{1,2}. Als Folge davon kann die ideale dreidimensionale (3D-)Positionierung des Implantats kompromittiert sein. Mit unterschiedlichen Methoden ist ein Aufbau der Breite und Höhe des Restknochens möglich, der zur Vorbereitung einer restaurativ idealen 3D-Positionierung des Implantats dient. Dieser Artikel beschreibt Planungsrichtlinien für den Kliniker für eine horizontale Kammaugmentation.

Kammresorption

Der Alveolarkamm verliert in den ersten sechs Monaten nach einer Extraktion signifikant an Knochen¹, was zu einem geschätzten Verlust von 40 % der Kammhöhe und 60 % der Kammbreite führt³. Die Resorption der bukkalen Knochenplatte ist wegen des Verlusts von Bündelknochen schneller und ausgeprägter als die der palatinalen oder linguale Knochenanteile². Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der klinischen Konsequenzen der Kammresorption^{1,2}.

Table 1 Faktoren der Kammresorption

Das Remodeling des Knochens geschieht vor allem in den ersten 6 Monaten nach der Extraktion
Es gehen ca. 40 % der Kammhöhe und 60 % der Kammbreite verloren
Der Verlust des Bündelknochens kann nicht verhindert werden
Der bukkale Knochen resorbiert stärker als der palatinale oder linguale
Das Zentrum des Kamms wird nach palatinal oder lingual verschoben
Die Resorptionsrate des Restknochens liegt bei 0,1 mm/Jahr für den Ober- und 0,4 mm/Jahr für den Unterkiefer

Knochentransplantate

Im Handel erhältliche Knochenersatzmaterialien können grob in vier Typen unterteilt werden: Autografts, Allografts, Xenografts und Alloplasten. Ein autologes Transplantat gilt immer noch als Goldstandard bei der Knochenaugmentation, weil es osteogen, osteokonduktiv und osteoinduktiv ist⁴. Autologe Transplantate können extraoral (z. B. aus dem Beckenkamm) oder intraoral (z. B. aus dem Kinn oder Ramus) entnommen werden. Autografts haben sehr viele Vorteile. Sie übertragen keine Infektionskrankheiten⁵ und nach der Transplantation entsteht keine Immunreaktion⁶. Dennoch gibt es Risiken wie die Morbidität der Entnahmestelle, ein beschränktes Knochenangebot⁴, Taubheitsgefühle im Kinnbereich, Nervenschädigungen, eine Devitalisation der Zähne, gingivale Rezessionen, postoperative Beschwerden, Infektionen und Blutverlust⁷, vor allem bei extraoralen Entnahmestellen⁸.

Allografts wie demineralisierter und oder gefriergetrockneter Kno-

chenersatz zeigen ähnliche Erfolgsraten wie autologer Knochen und stellen eine gute Alternative dar⁹. Allografts stammen meist aus Knochen von Leichen, der innerhalb derselben Spezies übertragen wird⁴. Sie sind meist osteokonduktiv und zeigen eine leichte osteoinduktive Wirkung⁴. Allografts wurden bereits sehr oft effektiv für Knochenaufbauten eingesetzt⁴.

Xenografts sind Ersatzmaterialien, die von einer Spezies auf eine andere übertragen werden. Bovine Xenografts, die meist osteokonduktiv sind, sind weit verbreitet und verträglich. Dennoch zeigen sie im Vergleich zu Allografts eine langsame oder unklare Resorptionsrate¹⁰.

Alloplaste, wie β -Tricalciumphosphate, Hydroxylapatite und bioaktives Glas sind anorganische, synthetische Knochenersatzmaterialien mit einer biokompatiblen, osteokonduktiven Matrix¹¹. Dennoch werden diese vor allem zum Auffüllen von Defekten verwendet¹².

Membranen

Im Handel erhältliche Membranen können in zwei Hauptgruppen unterteilt werden: nicht resorbierbare und resorbierbare. Sie müssen biokompatibel, zellokklusiv, volumenstabil, gut handhabbar, eventuell biologisch aktiv sein und die Gewebeintegration fördern. Untersuchungen haben gezeigt, dass beide Membranarten in der parodontalen Regeneration effektiv sind¹³.

Expandiertes Polytetrafluorethylen (e-PTFE), eine ideale Membran zur gesteuerten Knochenregeneration (GBR), ist ein Fluorokarbonpolymer, das mit Titan verstärkt werden kann, um stabiler und steifer zu werden, womit auch das Volumen besser erhalten werden kann. In diesem Fall ist aber ein zweiter Eingriff zur Entfernung notwendig, was die Morbidität, das Wohlbefinden des Patienten sowie den Kosten- und Zeitfaktor negativ beeinflusst. Der Hauptnachteil beim Einsatz von e-PTFE ist ein hoher Prozentsatz an Dehiszenzen, die zu Bakterienbesiedelungen, Knochenverlust und Misserfolgen bei der Regeneration führen können¹⁴.

Resorbierbare Membranen bestehen vor allem aus Kollagen (porcines oder bovines Typ-I oder -III-Kollagen) und synthetischen Membranen (polylaktide und polyglykolyde [Ko-]Polymere). Vorteile der Kollagenmembranen sind eine frühe Stabilisierung der Wunde durch eine raschere Koagulumbildung, eine verstärkte Migration von Fibroblasten in die Wunde, ein besserer Transfer von Nährstoffen und die einfachere Handhabung¹⁵. Dennoch fehlt diesen Membranen die Festigkeit für den Volumenerhalt, was die Möglichkeiten der Regeneration einschränkt¹⁶. Aus diesem Grund werden diese Membranen oft in Kombination mit Knochentransplantaten eingesetzt, die das Volumen für die Regeneration erhalten.

Vorgehensweisen

Häufig verwendete Techniken für den horizontalen Kammaufbau sind die GBR, Kammspreizung und Blocktransplantation mit autologen oder allogenen Materialien. Der Erfolg dieser Techniken hängt von ihrer Fähigkeit ab, im knöchernen Umfeld zu funktionieren. Das Knochenbett stellt die Grenze horizontaler Aufbautechniken dar. Spray et al.¹⁷ fanden, dass 1,8 bis 2,0 mm bukkale Knochendicke als Schutz vor dem Abbau der bukkalen Knochenplatte kritisch ist. Deshalb schlagen die Autoren vor, das Zentrum eines regulären Implantats je nach Durchmesser 4 bis 5 mm von der bukkalen Knochenwand entfernt zu setzen.

Die GBR funktioniert nach dem Prinzip der Kompartimentierung. Dabei können die Osteoblasten die Wunde vor den Epithel- und Bindegewebezellen besiedeln und so den Knochen regenerieren. Bei einer horizontalen Knochenaugmentation kann die GBR gleichzeitig mit dem Setzen des Implantats (z. B. „Sandwich“-Aufbautechnik des Knochens¹⁸) oder in einem zweizeitigen Vorgehen verwendet werden. Die GBR während der Implantation ist nur möglich, wenn das Knochenangebot für die Primärstabilität des Implantats ausreicht. Anderenfalls ist ein zweizeitiges Vorgehen, bei dem autologe Knochenblöcke oder -partikel auf dem Kamm fixiert und mit einer Membran abgedeckt werden, sinnvoller. Ein primärer Wundverschluss ist wichtig. Der Augmentationsbereich heilt vier bis sechs Monate, bevor Implantate gesetzt werden können. Kammspreizungen und Expansionsosteotomien nutzen die Kompressionsfähigkeit des trabekulären Knochens zur Platzgewinnung für die Implantate. Knochentransplantate aus kortikalem, kortikospongiossem autologem oder allogenen

Knochen können für eine Augmentation auf dem Kamm fixiert werden, um seine Breite für eine Implantatinsertion zu vergrößern.

In einem systematischen Review von Fiorellini und Nevins¹⁹ ergab sich mit der GBR eine Implantatüberlebensrate von $95,8\% \pm 5,3\%$ über $56,5 \pm 25,5$ Monate. Andere Reviews^{20, 21} berichten von Implantatüberlebensraten von 95,5 % für die GBR, 90,4 % für Transplantate alleine und 91 bis 97,3 % für Kammspreizungen. Die Kammaugmentation verzeichnete Erfolgsraten von 60 bis 100 % für GBR, 92 bis 100 % für Onlay-Blocktransplantate und 98 bis 100 % für Kammerweiterungen. Die Schlussfolgerung aus diesen Reviews ist, dass mit einem horizontalen Kammaufbau gut vorhersagbare Resultate in der Implantologie erzielt werden können.

Der Entscheidungsbaum

In Studien wurde gezeigt, dass die Primärstabilität der Implantate für den Erfolg der Implantatversorgungen entscheidend ist, da jede Mikrobewegung zu einer fibrösen Einkapselung anstatt zu einer Osseointegration führt²². Die Positionierung der Implantate sollte biologisch und prothetisch korrekt erfolgen, um eine optimale Funktion und Ästhetik zu erreichen. Daher berücksichtigt der Entscheidungsbaum (Abb. 1) die bukkolinguale Dimension des Knochens und die Möglichkeit, eine Primärstabilität der Implantate zu erreichen. Wenn das Implantat in einer kompromittierten, z. B. durch das Knochenangebot bestimmten Position gesetzt wird, müssen abgewinkelte Abutments oder rosa Keramiken zur Korrektur verwendet werden. Zusätzlich erhöht eine nicht axiale Belastung der implantatgetragenen Versorgung das Risiko prothetischer

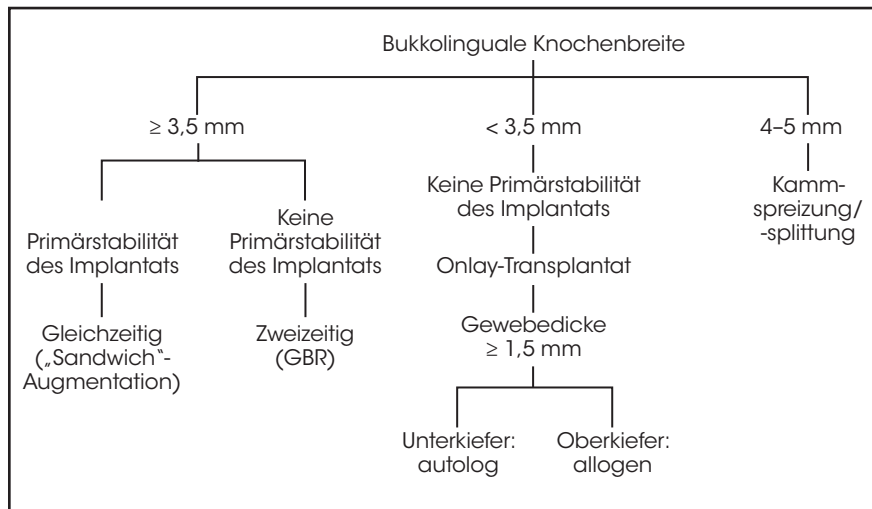


Abb. 1 Der Entscheidungsbaum für eine vorhersagbare horizontale Kammaugmentation.

Komplikationen wie Frakturen von Keramik, Schrauben und Implantat²³. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren bietet der Entscheidungsbaum einfache und vorhersagbare Richtlinien für den Kliniker, der eine horizontale Kammaugmentation plant.

Bei einem Standardimplantat (4,0 mm Durchmesser) genügt ein Kamm mit $\geq 3,5$ mm für eine vorhersagbare Primärstabilität. Dies deckt sich mit der Aussage, dass eine Kammbreite von < 4 mm subjektiv als ungenügend für das Setzen eines Implantats erachtet wird²⁴. Wang et al.¹⁸ schlugen eine „Sandwich“-Technik für den Knochenaufbau zum Management freiliegender Implantate vor, da diese Methode die Vorteile verschiedener Knochen-Transplantate für den Aufbau bietet. Bei dieser Methode werden autologe Knochenspäne oder eine Schicht schnell resorbierbaren spongiösen Allograft-Granulats auf die freiliegenden Windungen des Implantats aufgebracht. Eine zweite Schicht langsam resorbierbaren

spongiösen Allograft-Granulats wird appliziert und der Eingriffsbereich mit einer resorbierbaren Membran abgedeckt. Ein langsamer Ersatz der inneren spongiösen Schicht soll den Knochen-Implantat-Kontakt fördern und für eine Stabilität während der Einheilphase sorgen. Die zweite kortikale Schicht wird nur langsam ersetzt und erhält das Volumen für die Regeneration des Knochens. Abbildung 2 zeigt einen Patienten, der mit diesem Konzept behandelt worden ist.

In Situationen, bei denen die Primärstabilität des Implantats bei einer Kammbreite von $\geq 3,5$ mm nicht erzielt werden kann oder wenn der Kamm $< 3,5$ mm breit ist, ist ein zweizeitiges Vorgehen angebracht. Ein horizontaler Aufbau kann mit autologem oder allogenen Blocktransplantaten durchgeführt werden. Kortikospongiöse Blocktransplantate sind wegen ihrer besseren Vaskularisierung der spongiösen Anteile und der Stabilität der kortikalen Anteile für den Aufbau des Knochens ideal⁴. Onlay-Transplantate sind wegen der

oben erwähnten Eigenschaften bei lokalisierten horizontalen Kammdefekten ideal. Abbildung 3 zeigt eine größere horizontale Augmentation mithilfe eines Knochenblocks aus der Kinnregion.

Der Schlüssel für den Erfolg dieser Technik ist die Vermeidung einer Mobilität des Transplantats und von Spalten zwischen Knochen und Transplantat. Ein systematisches Review¹⁹ zeigte hohe Erfolgsraten mit diesem Regenerationsverfahren und hohe Überlebensraten der Implantate. Zusätzlich ergaben Studien, dass Onlay-Transplantate eine hohe Vorhersagbarkeit bei Eingriffen zur Kammaugmentation zeigen¹⁹.

Horizontale Knochenaufbauten im Unterkiefer funktionieren mit autologem Knochen am besten. Das liegt daran, dass der Unterkiefer aus Typ-1- oder -2-Knochen besteht, der kortikaler und weniger durchblutet ist. Aufbauten mit einem Autograft führen daher zu einer rascheren Revaskularisierung und Integration des Transplantats. Im Gegensatz dazu besteht der Oberkiefer typischerwei-

Abb. 2 „Sandwich“-Augmentation.



Abb. 2a (links) Implantate (3,7 x 13 mm; Tapered Screw Vent, Zimmer) wurden primär stabil gesetzt. Die Gewindegänge sind sichtbar.



Abb. 2b (rechts) Die freiliegenden Gewindegänge wurden mit humaner mineralisierter Spongiosa abgedeckt (Puros, Zimmer).

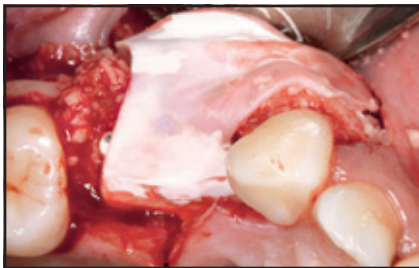


Abb. 2c (links) Das Knochenersatzmaterial wird mit einer Perikard-Membran abgedeckt (CopiOS, Zimmer), um das Einwachsen des Epithels zu verhindern und den primären Wundverschluss zu verbessern.



Abb. 2d (rechts) 6 Monate später ist der regenerierte Knochen gut sichtbar.

Abb. 3 Horizontaler Aufbau mit Knochen aus der Kinnregion.



Abb. 3a Präoperative Situation.

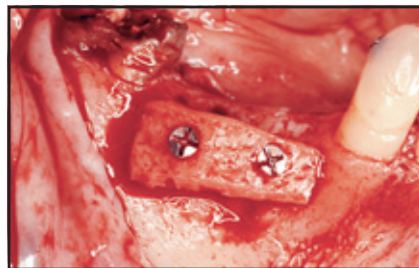


Abb. 3b Das Transplantat aus der Kinnregion wird zugeschnitten und mit Schrauben fixiert.

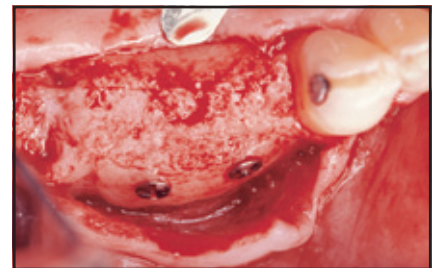


Abb. 3c Nach 6 Monaten zeigt sich ein signifikanter Zuwachs an Knochen.

se aus Typ-3- oder -4-Knochen, der eher spongiös und stark durchblutet ist. Ein Aufbau mit Alloplasten funktioniert hier ebenso gut, weil angiogene Zellen das Transplantat infiltrieren und so in den Wirtsknochen einbauen. Zusätzlich wird der Erfolg allogener Blocktransplantate auch ermöglicht, weil durch eine Lappenverschiebung ein primärer Wundverschluss erreicht werden kann²⁵. Lappen lassen sich im Oberkiefer besser

mobilisieren als im Unterkiefer. Es wird deshalb oft empfohlen, im Oberkiefer allogene Blocktransplantate einzusetzen. Abbildung 4 zeigt einen Patienten, der mit einem allogenen Blocktransplantat versorgt wurde.

Das Weichgewebe ist für den primären Wundverschluss und eine Abdichtung während der Einheilphase entscheidend, um eine maximale Regeneration des Knochens zu erzielen. Hiatt und Schallhorn²⁶ gaben

an, dass der Grad der Regeneration direkt mit der adäquaten Abdeckung durch das Weichgewebe und die Blutversorgung der defekten Knochenwände zusammenhängt. Ein primärer Wundverschluss ist deshalb entscheidend für die Regeneration des Knochens. Es wird eine minimale Knochendicke von 1,5 mm gefordert, um den aufgebauten Bereich des Knochens zusätzlich zu schützen.

Abb. 4 Allogenes Kochentransplantat für den horizontalen Aufbau des Kamms.

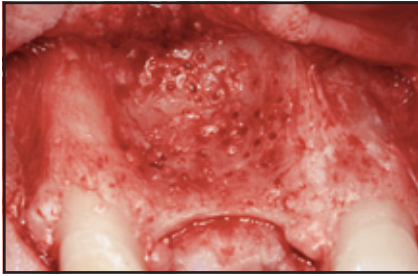


Abb. 4a Initialer Defekt mit Freilegung des Knochenmarks.

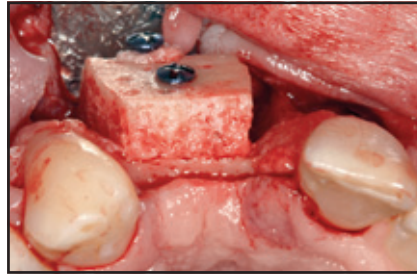


Abb. 4b Das allogene Blocktransplantat (J-Block, Zimmer) wurde angepasst und mit Schrauben fixiert, um Hohlräume und Beweglichkeit zu vermeiden.

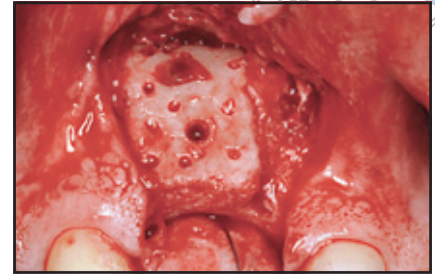


Abb. 4c Zweiteingriff nach 6 Monaten mit sichtbarem Knochenzuwachs.

Abb. 5 Kammspreizung für den horizontalen Knochenaufbau.

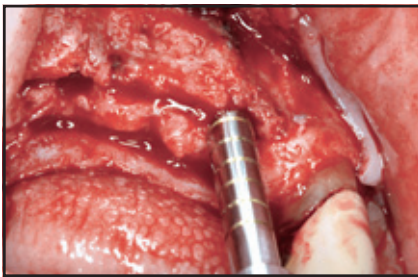
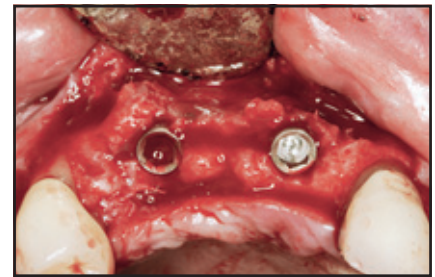


Abb. 5a (links) Das Spreizen des Kamms mit dem Osteotom.

Abb. 5b (rechts) Implantate im knöchernen Bett.



Das Setzen von Implantaten in Bereiche mit einer Kammbreite ≤ 4 mm führt oft zu einer zu lingu-
alen Positionierung. Das verursacht Probleme bei der prothetischen
Versorgung und beim langfristigen Erhalt. Eine Kammbreite zwischen 5
und 6 mm ist für das Setzen eines 4-mm-Standardimplantats ideal²⁷.
Deshalb wird in der dritten Kategorie des Entscheidungsbaums (Abb. 1),
die Kammspreizung/-splittung in Fällen mit einer Kammbreite von 4
bis 5 mm vorgeschlagen, um ein Implantat primärstabil setzen zu kön-
nen, damit eine Osseointegration

erreicht wird, ohne dass ein Trans-
plantat notwendig ist. Abbildung 5
zeigt einen Patienten, der mit einer
Kammspreizung/-splittung und Im-
plantaten behandelt wurde.

Die Kondensation des Knochens
wird vor allem im Oberkiefer mit
weicherem Typ-3- und -4-Knochen
eingesetzt. Meißel und Osteotome
werden im Oberkiefer bevorzugt ein-
gesetzt, um die bukkale Knochen-
platte ohne Bohrer nach fazial zu
verschieben. So kann das kompro-
mittierte Knochenvolumen besser er-
halten werden. Der Knochen wird mit
Osteotomen in steigendem Durch-

messer seitlich komprimiert, um ihn dichter und stabiler zu machen. Das Implantat mit idealem Durchmesser wird anschließend prothetisch korrekt positioniert. Zusätzlich werden Spongiosa und Knochenmark freigelegt, was zu einer besseren Blutversorgung und Einheilung des Transplantats führt. Summers²⁸ schlug den Einsatz dieser Technik bei einer Knochenbreite von mindestens 3 mm vor, sodass zwischen den kortikalen Wänden noch ein Minimum an Spongiosa vorhanden ist. In einer Studie von Katranji et al.²⁹ an Leichen betrug die durchschnittliche Dicke der bukkalen Knochenplatte in zahnlosen Ober- und Unterkiefen zwischen 1,0 und 2,1 mm. Es ist sinnvoll, diese Technik bei Knochenkämmen mit einer Breite von 4 bis 5 mm einzusetzen, sodass noch spongiöser Knochen zwischen den kortikalen Wänden vorhanden ist. Diese Methode ist am besten zur Anwendung in weicherem Typ-3- und -4-Knochen geeignet, der hauptsächlich im Oberkiefer vorkommt. In Typ-1- und -2-Knochen ist das Risiko einer Fraktur der bukkalen Knochenwand bei der Kondensation hoch.

Bei schmalen Kämmen stellen die Distraction oder der Einsatz schmalerer Implantate Alternativen dar. Bei einer Distraction werden Komplikationen, die aufgrund einer Entnahmestelle entstehen können, eliminiert. Zusätzlich kann ein Zugewinn an Knochen vertikal, horizontal oder in beiden Richtungen auftreten, der aber oft unkontrolliert erfolgt. Ein zweiter Eingriff ist nötig, um den Distraktor wieder zu entfernen. Die Distraction kann zu schweren Komplikationen führen, wie Frakturen des bewegten Segments, Unannehmlichkeiten für den Patienten, Beeinträchtigung der Implantatposition, Schäden am Knochen durch den Distraktor, eine inkorrekte Richtung der Distraction mit zu viel Knochen auf der lingualen

Seite, Resorption des beweglichen Knochensegments und schlechte Weichgewebedeckung (nachfolgende Weichgewebeaugmentation) mit ungenügender Knochenneubildung³⁰. Da die Distraction mit vielen Komplikationen verbunden ist, stellt diese für die Autoren nur bei fehlenden Alternativen eine Option dar.

Der Einsatz schmaler Implantate stellt keine Kontraindikation dar. Prothetisch gesehen führt der Einsatz von schmaleren Implantaten außer bei lateralen oder Unterkieferschneidezähnen oft zu ungünstigen Austrittsprofilen mit überkonturierten Kronen. Dies führt zu Problemen bei der Mundhygiene, die Entzündungen der Mukosa oder des Parodonts um die Implantate verursachen können. Diese Option wurde deshalb von den Autoren nicht in den Entscheidungsbaum aufgenommen.

Der vorgeschlagene Entscheidungsbaum berücksichtigt die ideale Position und Primärstabilität der Implantate, die Vorhersagbarkeit des Vorgehens und eine einfache Durchführung der Technik mit einfachen Möglichkeiten, verschiedene klinische Szenarien zu bewältigen.

Schlussfolgerung

Mit den vorgeschlagenen Richtlinien, die den grundlegenden chirurgischen Prinzipien folgen, kann vorhersagbar eine horizontale Knochenaugmentation erreicht werden. In der Implantattherapie und bei der Augmentation ist die Stabilität von Implantat und Aufbaumaterial für ein erfolgreiches Behandlungsergebnis entscheidend. Diese Richtlinien berücksichtigen die verschiedenen Vorgehensweisen und Transplantatmaterialien und nutzen diese in verschiedenen klinischen Situationen, um eine optimale horizontale Augmentation zu erreichen.

Danksagung

Die Autoren danken den Dr. Rodrigo F. Neiva, Gustavo Avila-Ortiz, und Hector F. Rios für ihre Mithilfe bei der Dokumentation der vorgestellten Fälle. Der Periodontal Graduate Student Research Fund der Universität Michigan hat diese Studie unterstützt.

Literatur

1. 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.
2. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212-218.
3. 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.
4. Rosenberg E, Rose LF. Biologic and clinical considerations for autografts and allografts in periodontal regeneration therapy. *Dent Clin North Am* 1998;42:467-490.
5. Goldberg VM, Stevenson S. Natural history of autografts and allografts. *Clin Orthop Relat Res* 1987;(225):7-16.
6. Schlegel KA, Fichtner G, Schultze-Mosgau S, Willfang J. Histologic findings in sinus augmentation with autogenous bone chips versus a bovine bone substitute. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:53-58.
7. Mellonig JT. Autogenous and allogeneic bone grafts in periodontal therapy. *Crit Rev Oral Biol Med* 1992;3:333-352.
8. Arrington ED, Smith WJ, Chambers HG, Bucknell AL, Davino NA. Complications of iliac crest bone graft harvesting. *Clin Orthop Relat Res* 1996;(329):300-309.
9. Fiorellini JP, Kim DM, Nakajima Y, Weber HP. Osseointegration of titanium implants following guided bone regeneration using expanded polytetrafluoroethylene membrane and various bone fillers. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:287-294.
10. 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.
11. Browaeys H, Bouvry P, De Bruyn H. A literature review on biomaterials in sinus augmentation procedures. *Clin Implant Dent Relat Res* 2007;9:166-177.
12. Garrett S. Periodontal regeneration around natural teeth. *Ann Periodontol* 1996;1:621-666.
13. Zitzmann NU, Naef R, Schärer P. Resorbable versus nonresorbable membranes in combination with Bio-Oss for guided bone regeneration. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997;12:844-852 [erratum 1998;13:576].
14. Machtei EE. The effect of membrane exposure on the outcome of regenerative procedures in humans: A meta-analysis. *J Periodontol* 2001;72:512-516.
15. Bunyaratavej P, Wang HL. Collagen membranes: A review. *J Periodontol* 2001;72:215-229.
16. Oh TJ, Meraw SJ, Lee EJ, Giannobile WV, Wang HL. Comparative analysis of collagen membranes for the treatment of implant dehiscence defects. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:80-90.
17. Spray JR, Black CG, Morris HF, Ochi S. The influence of bone thickness on facial marginal bone response: Stage 1 placement through stage 2 uncovering. *Ann Periodontol* 2000;5:119-128.
18. Wang HL, Misch C, Neiva RF. "Sandwich" bone augmentation technique: Rationale and report of pilot cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:232-245.
19. Fiorellini JP, Nevins ML. Localized ridge augmentation/preservation. A systematic review. *Ann Periodontol* 2003;8:321-327.
20. 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.
21. Chiapasco M, Zaniboni M, Boisco M. Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants. *Clin Oral Implants Res* 2006;17(suppl 2):136-159.
22. Lioubavina-Hack N, Lang NP, Karring T. Significance of primary stability for osseointegration of dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:244-250.
23. Balshi TJ. An analysis and management of fractured implants: A clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:660-666.
24. Chiapasco M, Abati S, Romeo E, Vogel G. Clinical outcome of autogenous bone blocks or guided bone regeneration with e-PTFE membranes for the reconstruction of narrow edentulous ridges. *Clin Oral Implants Res* 1999;10:278-288.
25. Park SH, Lee KW, Oh TJ, Misch CE, Shotwell J, Wang HL. Effect of absorbable membranes on sandwich bone augmentation. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:32-41.
26. Hiatt WH, Schallhorn RG. Intraoral transplants of cancellous bone and marrow in periodontal lesions. *J Periodontol* 1973;44:194-208.
27. 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.
28. Summers RB. The osteotome technique: Part 2—The ridge expansion osteotomy (REO) procedure. *Compendium* 1994;15:422, 424, 426.
29. Katranji A, Misch K, Wang HL. Cortical bone thickness in dentate and edentulous human cadavers. *J Periodontol* 2007;78:874-878.
30. Saulacic N, Zix J, Iizuka T. Complication rates and associated factors in alveolar distraction osteogenesis: A comprehensive review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:210-217.