

Daniel Engler-Hamm

Komplexe Rehabilitation mit CAD/CAM-Knochenblöcken

Auswertung mittels DVT nach 0, 6 und 21 Monaten

INDIZES *Augmentation, allogenes Knochenersatzmaterial, CAD/CAM-Knochenblock, Augmentatresorption*

**Daniel Engler-Hamm**

Dr. med. dent., MSc.
Frauenplatz 11
80331 München
E-Mail: engler@fachpraxis.de

Allogene Knochenersatzmaterialien werden von verschiedenen Herstellern angeboten, die jeweils unterschiedliche Aufbereitungsverfahren anwenden. Seit Kurzem stehen auch 3-D-Knochenblöcke dieser Ersatzmaterialien zur Verfügung. Diese werden mithilfe eines Computertomogramms (DVT) geplant und mit einer CNC-Fräse hergestellt. Der vorliegende Fallbericht beschreibt eine implantologisch und prothetisch komplexe Rehabilitation eines Bruxismuspatienten mit geringem Restzahnbestand und atrophischen Kieferkämme. Hierbei wird eine Variante der dreidimensionalen Kieferkammaugmentation mittels CAD/CAM-Knochenblöcken beschrieben sowie das Resorptionsverhalten des Augmentats gemessen und ausgewertet.

■ Einleitung

Der Einsatz von Fremdmaterialien (z. B. Kürbisse, Edelmetalle oder Kokosnüsse) im menschlichen Schädel lässt sich zurückverfolgen bis in die Zeit von verschiedenen historischen Hochkulturen wie die der Inkas¹. Der Anspruch an solche Ersatzmaterialien wuchs mit der Zeit und wurde in der modernen Medizin wie folgt beschrieben. Das Material sollte einfach zu benutzen, biokompatibel und formbar sein, wenig kosten, in ausreichender Menge zur Verfügung stehen und sich natürlich osseointegrierbar verhalten². Aus diesem Anspruch entwickelten sich zahlreiche synthetische sowie aufbereitete allogene und xenogene Knochenersatzmaterialien²⁻⁴. Allogene Knochenersatzmaterialien werden von verschiedenen Herstellern angeboten, welche jeweils unterschiedliche Aufbereitungsverfahren anwenden^{5,6}. Seit Kurzem stehen auch 3-D-Knochenblöcke dieser Ersatzmaterialien zur Verfügung, die mithilfe eines Computertomogramms (DVT) geplant und

mittels einer CNC-Fräse hergestellt werden. Die Hauptindikation dieser allogenen Knochenblöcke ist der stark atrophische Kiefer. Alternativ bietet sich beispielsweise autologer Hüftknochen an^{7,8}. Autologe Transplantate können extra- und intraoral entnommen werden und sind entweder kortikal, spongiös oder kortikospongiös. Da autologer Knochen vitale, osteoinduktive Zellen enthält und keinerlei Antigenität hat bzw. nicht karzinogen sein kann, wird er oft als „Goldstandard“ bezeichnet⁹. Tetè et al. zeigten in einer Studie, die Calvaria-, Ramus- und ein heterologes Transplantat miteinander verglich, eine hohe Ausschüttung von Bone Sialoprotein (BSP) und einen vaskulären endothelialen Wachstumsfaktor (vascular endothelial growth factor, VEGF)¹⁰. Sie unterstützen damit die These einer guten Osteoproliferation von autologen, insbesondere Calvariaintransplantaten¹⁰. Die Unterschiede innerhalb der autologen Gruppe können mit den als wichtig beurteilten geometrischen, mechanischen, chemischen und biochemischen Eigenschaften erklärt werden⁹. So wird

Manuskript
Eingang: 15.03.2017
Annahme: 11.02.2018

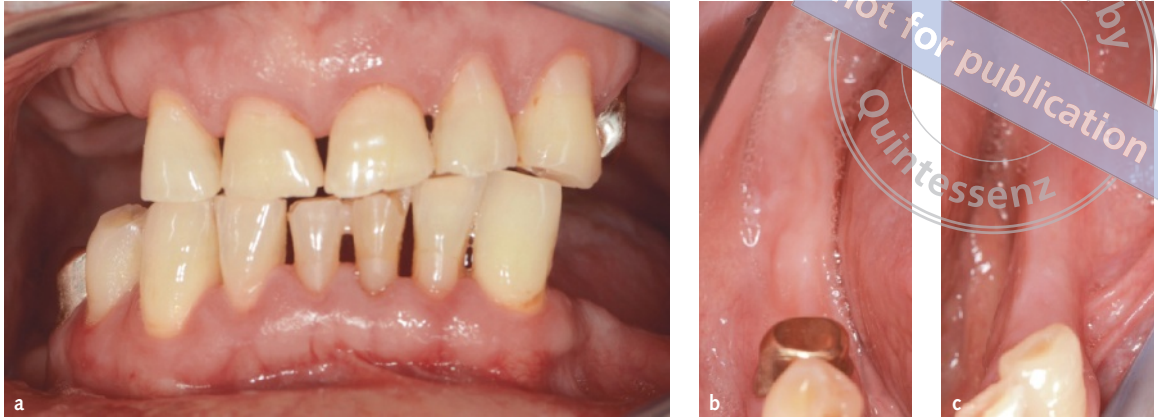


Abb. 1a bis c Ausgangsbefund Frontal (a) sowie rechter (b) und linker Kiefer (c).

beispielsweise eine offene Porosität von 50 Volumenprozent und eine Porengröße von 200 bis 800 μm als optimal angesehen^{9,11}. Dies könnte ein wesentlicher Faktor im unterschiedlichen Integrationsverhalten verschiedener Spendergruppen (autolog, allogene, heterolog etc.) sein. Ein Nachteil der autologen Transplantate bleibt die erhöhte Donormorbidität, die sicherlich auch abhängig von der Spenderregion (Calvaria, Hüfte, Ramus) sehr unterschiedlich zu bewerten ist. In einer Untersuchung wurde eine geringere Komplikationsrate von Ramus- im Vergleich zu Symphysenblöcken aufgezeigt¹². Im Vergleich dazu offerieren allogene Transplantate, die ausschließlich Komplikationen in der Empfängerregion zeigen (z. B. Wunddehiszenz und Blockverlust), eine Alternative¹¹.

Das Ziel dieser Fallbeschreibung ist es:

- die Technik zur Augmentation mit CNC-Knochenblöcken darzustellen,
- die Sicherheit der Blöcke kritisch zu hinterfragen und
- das Resorptionsverhalten der Blöcke nach 6 und 21 Monaten Einheilung auszuwerten.

■ Patientenfall

Ein 67-jähriger medizinisch vollkommen gesunder Patient stellte sich mit dem Wunsch nach einem festsitzenden und kosmetisch ansprechenden Zahnersatz vor. Die Befunderhebung zeigte ein ausgeprägtes Bruxismusverhalten sowie starke Atrophien der zahnlosen Kieferkämme (Abb. 1).

■ Material und Methoden

Es wurde ein prothetisches Wachs-Up hergestellt und in eine Bariumsulfat-Röntgenschablone übertragen. Im Anschluss wurde ein Computertomogramm angefertigt, das als Grundlage für die Herstellung zweier 3-D-Knochenblöcke diente (Abb. 2). Aus den einzelnen Schnittbildern des DICOM-Datensatzes wird in einem ersten Schritt mit einer geeigneten Software (Materialise Mimics V 17, Fa. Materialise, Leuven, Belgien) ein dreidimensionales Modell berechnet. Durch Festlegen der Graustufenschwellenwerte (Thresholding) wurde die knöchernen Oberfläche extrahiert und ein Oberflächenmodell generiert. Das Thresholding ist eine automatisierte Funktion und erfasst auch mögliche Artefakte oder Fremdkörper in der knöchernen Struktur, sodass vor Fertigstellung des Modells manuelle Anpassungen an der Oberfläche durchgeführt wurden, damit die extrahierte Struktur die anatomische Struktur widerspiegelt. Das Oberflächenmodell wurde anschließend in eine CAD-Software zur weiteren Verarbeitung exportiert. Die virtuelle Augmentation erfolgte unter Berücksichtigung der anatomischen Gegebenheiten und angestrebten Implantatpositionen. Die äußere Kontur der Knochenblöcke wurde weitgehend ohne scharfe Kanten und Übergänge gestaltet, um manuelle Korrekturen intraoperativ möglichst zu vermeiden. Die Schnittstelle zwischen Knochenblock und knöchernem Lager wird durch eine mathematische Operation berechnet, sodass im Idealfall von einer ausgezeichneten Passung ausgegangen werden

kann. Zuletzt wurden die geplanten Knochenblöcke als STL-Datei exportiert und auf einer CAD/CAM-Fräse gefräst. Die Fräse befindet sich in kontrollierter Umgebung (Reinraumbedingungen). Das Material, aus dem die individuellen Knochenblöcke hergestellt werden, ist aufbereitete humane Spongiosa (Puros Allograft Patientenindividueller Block, Fa. Zimmer Dental, München). Der humane Spenderknochen wird durch einen mehrstufigen Tutoplast®-Prozess gereinigt¹³, wobei die natürliche Kollagen-Knochenmineral-Zusammensetzung des nativen Gewebes erhalten bleibt. Der Erhalt der Matrixzusammensetzung gibt dem Knochenblock eine natürliche Duktilität, wodurch Handling, Formgebung und letztendlich die Fixierung der Blöcke wesentlich erleichtert werden. Das humane Knochenaufbaumaterial ist in Deutschland nach den Vorgaben des Arzneimittelgesetzes (AMG) in verschiedenen Darreichungsformen als Arzneimittel registriert. Das fertige spongiöse Transplantat wird nach dem Fräsen verpackt und gamma-sterilisiert.

■ Prä- und postoperative Messungen

Die angefertigte Röntgenschablone diente als Referenz bei der Erstellung von Messpunkten zur Beurteilung der Umbaukinetik der angefertigten Knochenblöcke. Zu insgesamt vier Zeitpunkten wurden die bucco-orale wie auch apiko-koronale Dimension des nicht-augmentierten und augmentierten Kieferabschnitts erfasst:

- I. präoperativ, Dimension der Ausgangssituation,
- II. Summe der Ausgangssituation + virtuelles Transplantat,
- III. 6 Monate postoperativ nach Einheilung der Knochenblöcke auf Basis einer zweiten DVT-Aufnahme, und
- IV. 21 Monate nach Augmentation zur Kontrolle der Knochenblockvolumina.

Zur Vermessung wurde die Software Materialise Mimics V 17 verwendet (Fa. Materialise). Zu jedem Messpunkt wurden Einzelmessungen erfasst.

■ Therapie

Es wurde ein prothetisches Wachs-Up hergestellt und in eine Bariumsulfat-Röntgenschablone übertra-

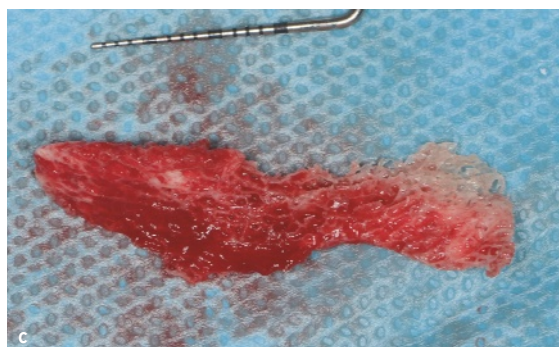
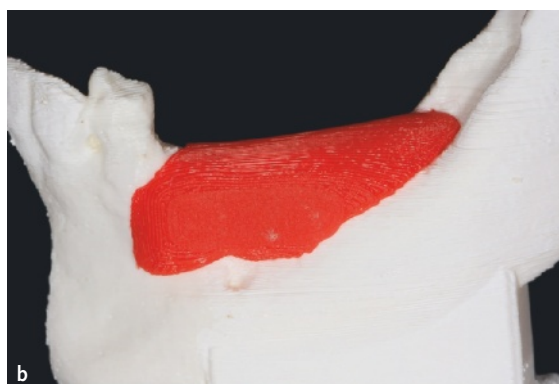
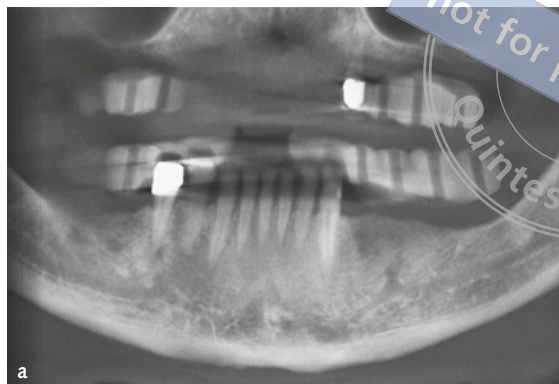


Abb. 2a bis c Präoperativer Ausschnitt des Computertomogramms mit Bariumsulfatschablone (a), Modell des Knochenblocks (b) und allogener CNC-Knochenblock (c).

gen. Im Anschluss wurde ein Computertomogramm angefertigt, das als Grundlage für die Herstellung zweier 3-D-Knochenblöcke diente (s. Abb. 2).

Die Augmentate hatten eine leichte vertikale und eine ausgeprägte laterale Komponente. Die Augmentation erfolgte mittels einer Schnittführung am Übergang von der befestigten zur unbefestigten Mukosa, lateral im Vestibulum. Dabei wurde der distale Anteil der Blockregion tunneliert. Die Blöcke wurden mit Osteosynthese-Schrauben fixiert (Abb. 3a) und kleinere Unebenheiten zusätzlich mit partikulärem allogenem Ersatzmaterial ausgeglichen (Fa. Zimmer Dental) (Abb. 3b).

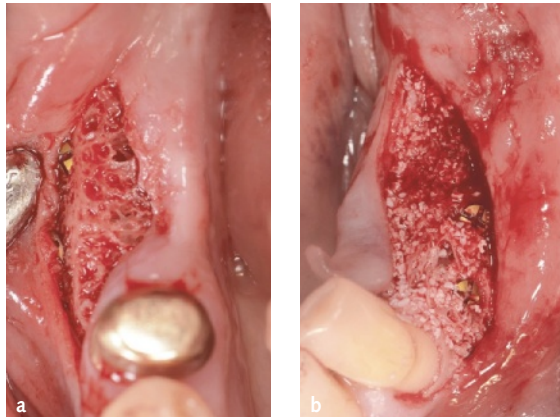


Abb. 3a und b Mit Osteosynthese-Schrauben fixierter Block UK rechts (a). Ausgleich mit allogenem Ersatzmaterial (b).

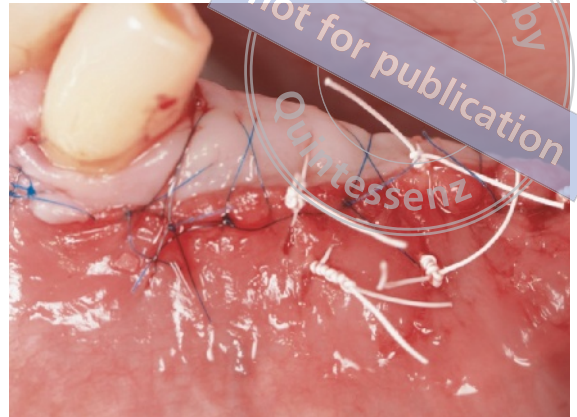


Abb. 4 Spannungsfreier Nahtverschluss.

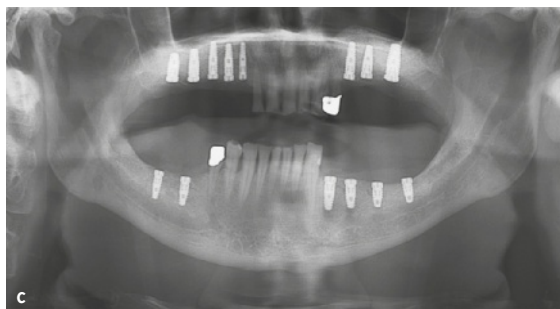
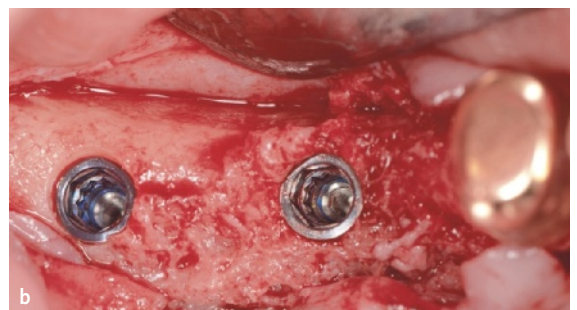


Abb. 5a bis c Klinische Situation nach Implantatinsertion (a,b) und Panoramaaufnahme (OPG) (c).



Abb. 6a und b Linke und rechte Kieferhälfte nach Versorgung mit Gingivaformern.

Das Augmentat wurde mit einer Kollagenmembran (CopiOs® Pericardium Membran, Fa. Zimmer Dental) abgedeckt und es erfolgte ein mikrochirurgischer spannungsfreier Nahtverschluss (Abb. 4).

Der Patient wurde angewiesen, die ersten drei Wochen keine Prothesen zu tragen. Im Anschluss wurden die Prothesen basal so ausgeschliffen, dass wenig Druck auf die Blockregion zu erwarten war. Der Patient bekam zehn Tage lang Amoxicillin 500 mg (dreimal pro Tag), vier Tage lang Ibuprofen 600 mg (dreimal pro Tag) und spülte über zehn Tage mit Chlorhexamed (0,2 %).

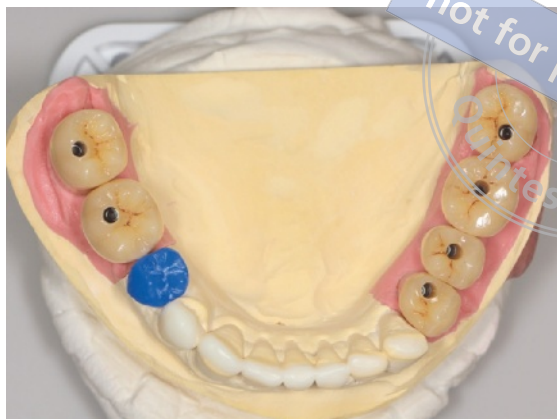


Abb. 7 Definitiver Zahnersatz aus monolithischer Zirkonoxidkeramik auf dem Modell.



Abb. 8a bis c Definitiver Zahnersatz in situ.

Sechs Monate später wurde mit der gleichen Schablone erneut ein 3-D-Röntgenbild angefertigt und die Implantate geplant. Die Implantation erfolgte ohne erneute Augmentation (Abb. 5 und 6). Nach weiteren drei Monaten wurden die Implantate freigelegt, und der Patient wurde zunächst über ein Mock-Up und ein Langzeitprovisorium prothetisch versorgt.

Das Provisorium wurde dann drei Monate später durch den definitiven Zahnersatz ersetzt (Abb. 7

und 8). Aufgrund des ausgeprägten Bruxismusverhaltens des Patienten wurde der Implantat-Zahnersatz aus monolithischer CAD/CAM-Zirkonoxidkeramik hergestellt (Labor: Oral Design, München).

Eine klinische Nachkontrolle nach 21 und 23 Monaten zeigte, dass die Implantate im augmentierten Unterkiefer gut osseointegriert waren (Abb. 9 bis 11). Der Patient war zufrieden mit dem Behandlungsergebnis.



Abb. 9a bis c Klinische Situation nach 21 (a) und 23 Monaten (b,c).

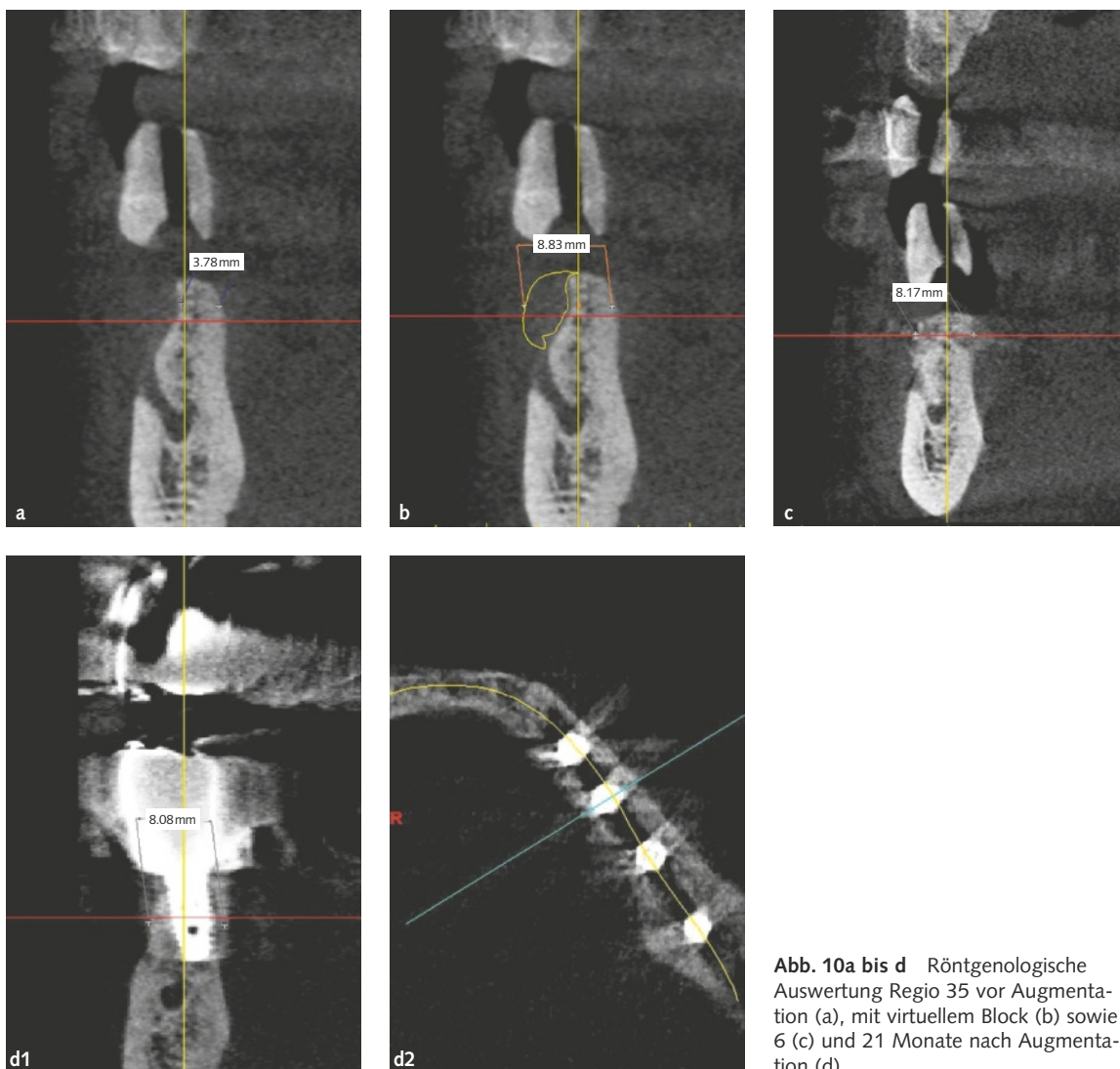


Abb. 10a bis d Röntgenologische Auswertung Regio 35 vor Augmentation (a), mit virtuellem Block (b) sowie 6 (c) und 21 Monate nach Augmentation (d).

■ Ergebnisse

Postoperativ war die Heilung normal und es trat keine Wunddehiszenz auf. In Tabelle 1 werden die Messergebnisse vor und nach Knochenaugmentation dargestellt. Es wurden zu drei Zeitpunkten die bucco-orale wie auch apiko-koronale Dimension des nicht-augmentierten und augmentierten Kieferabschnitts erfasst: (I) präoperativ, Dimension der Ausgangssituation, (II) Summe der Ausgangssituation und virtuelles Transplantat, (III) 6 Monate postoperativ, nach Einheilung der Knochenblöcke auf Basis einer zweiten DVT-Aufnahme, und (IV) 21 Monate nach Augmentation zur Kontrolle der Knochenblockvolumina. Die Spalte (V) zeigt, wie viel des augmentierten Knochens 21 Monaten postoperativ noch vorhanden war und wie viel Resorption in den 21 Monaten zu beobachten war. Dabei muss erwähnt werden, dass bei der Augmentation zum Ausgleich von Unebenheiten auch partikulärer Knochen verwendet wurde. Dieser war nicht Teil der virtuellen Augmentation (II). Das erklärt möglicherweise die differierenden Resorptionsraten von -24 % bis +22 % (V).

■ Diskussion

Nach Etablierung der ersten kommerziellen Gewebebank (US Navy Tissue Bank) fanden allogene Transplantate, insbesondere Knochentransplantate, weite Verbreitung in verschiedenen medizinischen Fachrichtungen¹⁴⁻¹⁸. Die heute erhältlichen Knochen-

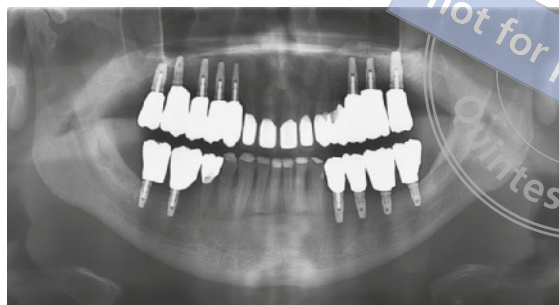


Abb. 11 OPG nach 23 Monaten.

transplantate werden von speziellen Einrichtungen (Gewebebanken, Knochenbanken) bereitgestellt, die nach nationalen¹⁹⁻²³ bzw. länderübergreifenden Standards arbeiten, um qualitativ hochwertige und sichere Produkte bereitzustellen. Die Verfahren zur Aufbereitung der Transplantate sind von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich, sodass eine objektive Bewertung der Sicherheit nur auf Basis historischer Daten und bereits verwendeter Transplantate sowie gemeldeter bzw. nicht-gemeldeter Kontaminationen möglich ist. Entsprechend den offiziellen Firmenangaben des in diesem Fallbericht verwendeten Materials gibt es bei über 5 Millionen allogenen Knochentransplantaten keinen Fall einer nachgewiesenen Infektionsübertragung⁵. Ein Übersichtsartikel, der sich mit der Sterilisation von allogenen Knochenblöcken beschäftigt, kommt zu dem Schluss, dass Gammastrahlung, die ebenfalls bei dem Sterilisationsprozess der hier verwendeten Blöcke zum Einsatz kommt, je nach Dosis die beste bzw. sicherste Methode ist, um eine Infektionsübertragung auszuschließen²⁴. Dennoch ist eine hundertprozentige Sicherheit allein

Tab. 1 Falluntersuchung: Messergebnisse und Resorptionsverhalten des Augmentats (allogener Knochenblock).

	Knochenabmessung in mm (I)	Knochenabmessung mit Block (nur Block) in mm (II)	Knochenabmessung nach 6 Monaten in mm (III)	Knochenabmessung nach 21 Monaten in mm (IV)	Prozent Knochenvolumen nach 21 Monaten; (Resorption) V
34 horizontal	5,59	9,92 (4,33)	8,18	7,54	76 % (-24 %)
35 horizontal	3,78	8,83 (5,05)	8,17	8,08	91 % (-9 %)
36 horizontal	6,43	8,48 (2,05)	7,14	7,00	82 % (-18 %)
36 vertikal	9,60	11,48 (1,88)	10,67	9,75	84 % (-16 %)
37 horizontal	5,74	6,95 (1,21)	8,61	8,52	122 % (+22 %)
37 vertikal	5,74	8,36 (2,62)	7,62	7,27	87 % (-13 %)
46 horizontal	4,48	8,9 (4,42)	8,9	8,81	98 % (-2 %)
46 vertikal	11,94	13,97 (2,03)	12,04	11,93	85 % (-15 %)
47 horizontal	4,65	8,4 (3,75)	8,9	8,88	105 % (+5 %)

mit diesem Verfahren nicht erreichbar. Aus diesem Grund wird das autologe Transplantat weiterhin von vielen Chirurgen als Goldstandard beschrieben^{7,25}.

Die unterschiedlichen Aufbereitungs- bzw. Sterilisationsverfahren ergeben Knochenprodukte ganz unterschiedlicher Zusammensetzung, die wie folgt klassifiziert werden können:

1. „Fresh frozen Bone“ (FFB), gefrierkonservierter Knochen ohne Extraktion von Fett-, Blut- und Zellbestandteilen, ggf. mit terminaler Gamma-Sterilisation.
2. Mineralisierter Knochen, einschließlich Extraktionsschritten zur Entfernung/Minimierung von Fett-, Blut- und Zellbestandteilen, ggf. mit terminalen Sterilisationsschritten.
3. „Demineralized Freezed Dried Bone Allograft“ (bekannt als DFDBA), einschließlich Extraktionsschritten zur Entfernung/Minimierung von Fett-, Blut- und Zellbestandteilen sowie Entfernung des mineralischen Anteils, ggf. mit terminalen Sterilisationsschritten.

Wenn man sämtliche antigene Proteine von allo-genen Transplantaten entfernt, zerstört man die gewünschte positive Aktivität des Bone Morphogenetic Proteins (BMP). Die Aufbereitung geht demnach einen Kompromiss ein und belässt einen Rest an antigenen Proteinen, wodurch die allo-genen Transplantate immunogen bleiben.

Aus der Klassifizierung ist abzuleiten, dass die Knochenprodukte abhängig vom gewählten Aufbe-reitungsverfahren unterschiedliche qualitative und quantitative Zusammensetzungen aufweisen. Auch ergeben sich bei Produkten aus Punkt 2. entspre-chend der verwendeten Prozessschritte Subklassifi-kationen, beispielsweise lyophilisierter oder lösungs-mittelgetrockneter Knochen. Es ist ferner bekannt, dass unterschiedliche Aufbereitungsprozesse sowohl die Biokompatibilität²⁶, die mechanischen Eigen-schaften^{27–29} als auch das Remodelling der Produkte beeinflussen können. So konnten Monje et al. in einer bilateralen Sinusliftstudie zeigen, dass bei Ver-wendung eines lösungsmittelgetrockneten partiku-lären Allografts die Knochenneubildung höher und die verbleibenden avitalen Restpartikel signifikant niedriger im Vergleich zu lyophilisiertem Allograft waren³⁰. Auch zeigen Studien, dass entfettete Kno-chenpräparate besser integrieren als nicht entfet-

tete Präparate^{31–34} und gleichzeitig eine geringere Immunantwort hervorrufen³⁵. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Dynamik des Allograft-Remodellings. Bereits in ersten klinischen Studien über Allograft-knochen wurde festgestellt, dass allogener Knochen langsamer integriert als autologer Knochen sowohl bei orthopädischen^{36,37} als auch kraniofazialen Indikationen³⁸ und Blockaugmentationen^{39–41}. Eine Studie von Acocella et al. demonstriert eine Abnahme der devitalen Blockbestandteile mit län-gerer Einheilzeit. Aus dem Grund der tendenziell langsameren Einheilung im Vergleich zum autolo-gen Knochen wird bei der Verwendung allogener Knochenblöcke eine Einheilzeit von 5 bis 8 Mona-ten empfohlen^{42–44}. Eine aktuelle Studie von Artzi et al., die nach 3 Monaten Einheilzeit überlegene Resultate von autologen Knochen im Vergleich zu allo-genen Knochen zeigte, könnte in dem Kontext kritisch bewertet werden⁴⁵. Neben der kurzen Ein-heilzeit ist auch das Studiendesign so gewählt, dass die Verwendung eines allo-genen Knochens am Tier aus Sicht des Tieres definitionsgemäß ein Xenograft darstellt. Bei adäquaten Einheilzeiten zeigen histo-logische Studien mit mineralisierten, entfetteten Knochenblöcken (Einheilzeit 6 Monate)⁴⁶ als auch FFB-Allografts (Einheilzeit 9 Monate)⁴⁷ keine Unter-schiede zu autologen Knochenblöcken. Spin-Neto et al.⁴⁸ zeigten nach 6 Monaten Einheilzeit von FFB-Blöcken signifikant mehr vitalen Knochen in der autologen Gruppe. Erstaunlicherweise zeigen sich in der gleichen Studie keine Unterschiede im Knochen-Implantat-Kontakt trepanierter Miniimplantate. Auch konnte eine kürzlich veröffentlichte Studie keine ästhetischen Unterschiede nach Blockaugmen-tation mit mineralisiertem Allograft oder autologen Knochen zeigen⁴⁹. Das klinische Verhalten von FFB und mineralisiertem Allograft ist, wie bereits darge-stellt, unterschiedlich, keinesfalls sollten Studien ver-allgemeinert und gemischt werden. Beim Vergleich von allo-genen mit autologen Blöcken ergibt sich Fol-gendes: Bei der Implantatüberlebensrate scheint es bislang keinen Unterschied zu geben^{7,42,50–52}. Auch die Komplikationsrate scheint beim Empfängerbett bei beiden Techniken ähnlich zu sein⁷. Die autolo-gen Blöcke haben den Nachteil einer geringen, aber dennoch vorhandenen Komplikationsrate in der Spenderregion^{7,25}. Bei einer guten histologischen Integration und einem hohen Anteil an vitalem Kno-

chen wurde in zwei Studien mit allogenen Blöcken ein geringer Anteil von Bindegewebe, leere Osteozytenlakunen und eine geringe Osteoblastenaktivität festgestellt^{7,11}. Sofern sich dies bestätigt, könnte ein solcher Block rein hypothetisch als suboptimale Leitstruktur angesehen werden, da eine periimplantäre bakterielle Besiedlung bei unzureichender Revaskularisation möglicherweise eine Knochenresorption bzw. den Fortschritt einer Periimplantitis mangels ausreichender Abwehrmechanismen begünstigen könnte. Allerdings kann diese Hypothese basierend auf der aktuellen Studienlage nicht gestützt werden.

Der Hauptvorteil allogener Blöcke ist mit Sicherheit die reduzierte Morbidität und das praktisch unbegrenzt zur Verfügung stehende Spendermaterial. Alternativ sind xenogene Blöcke zu erwähnen, die ähnliche Vorteile wie allogene (unbegrenzt Material, reduzierte Morbidität) aufzeigen, allerdings gibt es noch wenig Evidenz in der Literatur hinsichtlich der Effizienz dieser Materialien¹¹. Eine kürzlich veröffentlichte Studie zeigt eine Expositionsrate von über 30 % nach Blockaugmentation mit xenogenen Knochenblöcken sowie 30 % verlorene Implantate⁵³. Insbesondere in den angelsächsischen Regionen der Welt gehört allogenes Knochenersatzmaterial seit Jahrzehnten zum Standardrepertoire im Bereich der zahnärztlichen Augmentation. Der Behandler sollte bei der Beratung des Patienten sowie bei der Auswahl des Materials größte Umsicht walten lassen, das Risiko-Nutzen-Verhältnis kritisch bewerten und den Patienten darüber aufklären. Das manuelle Anpassen der allogenen Knochenblöcke während der OP verlängert die Operationsdauer, belastet den Patienten mehr und resultiert in Blöcken, die nicht exakt am Empfängerbett anliegen. Es ist bekannt, dass eine gute Passung zwischen Knochenblock und Empfängerbett das Einsprossen von Blutgefäßen und die Revaskularisierung unterstützt⁵⁴. Anhand stereolithografischer Modelle der Defektsituation können standardisierte Allograft-Knochenblöcke vor der OP angepasst werden^{55,56}. Dies verbessert möglicherweise nicht nur die Passung signifikant, sondern reduziert auch die OP-Zeit und damit die Belastung für den Patienten.

Vergleicht man das Resorptionsverhalten von autologen Knochenblöcken mit dem dieser Falluntersuchung, ist festzustellen, dass (1) eine großvolumige Augmentation in vertikaler und horizontaler

Dimension möglich erscheint und (2) die Resorptionsrate der Blöcke in diesem Fallbericht zwischen 0 und 24 % liegt.

Grundsätzlich wird angedeutet, dass allogene Knochenblöcke einer bis zu dreimal höheren Resorptionsrate unterworfen sind als autologe Knochenblöcke⁷. Eine Untersuchung über sechs Monate zeigte eine Resorptionsrate von 52 % ± 25,87 % bei allogenen FFB und nur 25 % ± 12,73 % bei Ramusblöcken⁵⁷. Studien an mineralisierten, entfetteten Knochenblöcken zeigen weitaus geringere Resorptionsraten als die der FFB-Blöcke^{42,58–60}. In der aktuellen Untersuchung über einen Zeitraum von 21 Monaten konnte eine sehr geringfügige Resorption von 0 bis 24 % festgestellt werden. Da diese Schlussfolgerung, wie die der schlechteren biologischen Integration der allogenen Blöcke, auf Anwendungsuntersuchungen von manuell angepassten Blöcken beruht, besteht auch hier die Möglichkeit, dass für CNC-Blöcke dieser Art eine positivere Bewertung vorgenommen werden muss. Es sollte untersucht werden, wie es um das Resorptionsverhalten mehrere Jahre nach Implantatversorgung steht. Bei autologen Hüfttransplantaten, die zumeist weniger kortikal sind und auch einen anderen embryologischen Ursprung haben¹¹ als zum Beispiel intraorale Ramustransplantate, konnte – möglicherweise auch aufgrund des geringeren Mineralienanteils – eine Resorption von 12 bis 60 %^{9,11} bis hin zur vollständigen Resorption nach 6 Jahren⁶¹ festgestellt werden. In dieser Falluntersuchung kann eine Volumenstabilität der Blöcke bis 21 Monate nach Augmentation bzw. 15 Monate nach Implantation festgestellt werden. Es bleibt allerdings unklar, wie sich das Knochenremodelling 5 oder 10 Jahre nach der Implantatfreilegung verhält.

Komplexe Fallrehabilitationen erfordern ein schrittweises und präzises Vorgehen, um einen Behandlungserfolg gewährleisten zu können. Ein präzises Wachs-Up sowie die Umsetzung in eine radioopake Röntgenschablone erlauben eine hohe Sicherheit, insbesondere, wenn, wie in diesem Fall dargestellt, das Foramen mentale und der Alveolar kanal in unmittelbarer Nähe sind. Die prothetische Rehabilitation mittels Mock-Up und die Evaluation der Ästhetik und Funktion erlauben dann eine hochpräzise Übertragung des provisorischen in einen optimierten endgültigen Zahnersatz.

■ Schlussfolgerung

Die CAD/CAM-Technik erlaubt heute moderne augmentative Behandlungsalternativen, welche die Morbidität des Eingriffs unter Berücksichtigung der Risiken reduzieren können. Allogene Knochenblöcke zeigen in diesem Fallbericht eine Resorption von 0 bis 24 % nach 21 Monaten und scheinen eine sehr großvolumige Augmentation zu ermöglichen. Die Resorption sollte jedoch bei der Planung berücksichtigt werden, um Folgeaugmentationen auszuschließen.

■ Danksagung

Vielen Dank, liebe Frau Caroline Gommel und lieber Herr Dr. Stefan Berger, für Ihre Mithilfe.

■ Literatur

- Sanan A, Haines SJ. Repairing holes in the head: a history of cranioplasty. *Neurosurgery* 1997;40:588–603.
- Harris DA, Fong AJ, Buchanan EP, Monson L, Khechoyan D, Lam S. History of synthetic materials in alloplastic cranioplasty. *Neurosurg Focus* 2014;36:E20.
- Nazirkar G, Singh S, Dole V, Nikam A. Effortless effort in bone regeneration: a review. *J Int Oral Health* 2014;6:120–124.
- Engler-Hamm D, Cheung WS, Yen A, Stark PC, Griffin T. Ridge preservation using a composite bone graft and a bioabsorbable membrane with and without primary wound closure: a comparative clinical trial. *J Periodontol* 2011;82:377–387.
- <http://www.zimmerdental.de/medizinischer-fachbereich/produkte-loesungen/regenerative-loesungen/knochenersatzmaterialien/puros-allograft-knochenersatzmaterial/> (aufgerufen 20.8.2018).
- <http://www.botiss-bonebuilder.com/de/content/herkunft-und-sicherheit> (aufgerufen 20.8.2018).
- Motamedian SR, Khojasteh M, Khojasteh A. Success rate of implants placed in autogenous bone blocks versus allogenic bone blocks: A systematic literature review. *Ann Maxillofac Surg* 2016;6:78–90.
- Fretwurst T, Gad LM, Nelson K, Schmelzeisen R. Dentoalveolar reconstruction: modern approaches. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2015;23:316–322.
- Zizzari VL, Zara S, Tetè G, Vinci R, Gherlone E, Cataldi A. Biologic and clinical aspects of integration of different bone substitutes in oral surgery: a literature review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016;122:392–402.
- Tetè S, Zara S, Vinci R, Zizzari V, Di Tore U, Mastrangelo F, Cataldi A, Gherlone E. Vascular endothelial growth factor and e-nitric oxide synthase-mediated regenerative response occurring upon autologous and heterologous bone grafts. *Int J Immunopathol Pharmacol* 2009;22:1105–1116.
- Monje A, Wang HL. Biological and physical properties of bone block substitute biomaterials for ridge augmentation. *J Oral Science Rehabilitation* 2017;3:18–30.
- Ersanli S, Arsan V, Bedeloglu E. Evaluation of the autogenous bone block transfer for dental implant placement: Symphysal or ramus harvesting? *BMC Oral Health* 2016;26:164.
- Jacotti M. Simplified onlay grafting with a 3-dimensional block technique: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21:635–639.
- Hyatt GW. Bone bank fundamentals a preliminary report. *The Lahey Clinic bulletin* 1949;6:143–148.
- Strong DM. The US Navy Tissue Bank: 50 Years on the Cutting Edge. *Cell Tissue Bank* 2000;1:9–16.
- Rajan GP, Fornaro J, Trentz O, Zellweger R. Cancellous allograft versus autologous bone grafting for repair of comminuted distal radius fractures: a prospective, randomized trial. *J Trauma* 60: 1322–9 (2006).
- Ochs BG, Schmid U, Rieth J, Ateschrang A, Weise K, Ochs U. Acetabular bone reconstruction in revision arthroplasty: a comparison of freeze-dried, irradiated and chemically-treated allograft vitalised with autologous marrow versus frozen non-irradiated allograft. *J Bone Joint Surg Br* 2008;90:1164–1171.
- Contar CMM, Sarot JR, Bordini J, Galvao GH, Nicolau GV, Machado MaN. Maxillary Ridge Augmentation With Fresh-Frozen Bone Allografts. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:1280–1285.
- Paul-Ehrlich-Institut, Bundesgesundheitsamt. Virussicherheit/ Diagnostik – Validierung: Anforderungen an Validierungsstudien zum Nachweis der Virussicherheit von Arzneimitteln aus menschlichem Blut oder Plasma. *Bundesanzeiger* 1994; 84:4742–4744.
- Bundesärztekammer. Richtlinien zum Führen einer Knochenbank. *Deutsches Ärzteblatt* 2001;98:A1011–A1016.
- Europäische Kommission. Richtlinie 2004/23/Eg: Richtlinie 2004/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31. März 2004 zur Festlegung von Qualitäts- und Sicherheitsstandards für die Spende, Beschaffung, Testung, Verarbeitung, Konservierung, Lagerung und Verteilung von menschlichen Geweben und Zellen. *Official Journal of the European Union* 2004;L102:48–58.
- Europäische Kommission. Richtlinie 2006/17/Eg: Richtlinie 2006/17/EG der Kommission vom 8. Februar 2006 zur Durchführung der Richtlinie 2004/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich technischer Vorschriften für die Spende, Beschaffung und Testung von menschlichen Geweben und Zellen. *Official Journal of the European Union* 2006;L38:40–52.
- Europäische Kommission. Richtlinie 2006/86/Eg: Richtlinie 2006/86/EG der Kommission vom 24. Oktober 2006 zur Umsetzung der Richtlinie 2004/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit, der Meldung schwerwiegender Zwischenfälle und unerwünschter Reaktionen sowie bestimmter technischer Anforderungen an die Kodierung, Verarbeitung, Konservierung, Lagerung und Verteilung von menschlichen Geweben und Zellen. *Official Journal of the European Union* 2006;L294:32–50.
- Singh R, Singh D, Singh A. Radiation sterilization of tissue allografts: A review. *World J Radiol* 2016;8:355–369.
- Egol KA, Nauth A, Lee M, Pape HC, Watson JT, Borrelli J Jr. Bone Grafting: Sourcing, Timing, Strategies, and Alternatives. *J Orthop Trauma* 2015;29(Suppl 12):S10–14.
- Endres S, Kratz M, Heinz M, Herzberger C, Reichel S, Von Garrel T, Gotzen L, Wilke A. Biocompatibility testing of different sterilised or disinfected allogeneous bone grafts in comparison to the gold standard of autologous bone grafts – an „in vitro“ analysis of immunomodulation. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2005;143:660–668.
- Rauh J, Despang F, Baas J, Liebers C, Pruss A, Gelinsky M, Gunther KP, Stiehler M. Comparative biomechanical and microstructural analysis of native versus peracetic acid-

- ethanol treated cancellous bone graft. *Biomed Res Int* 2014;784702.
28. Cornu O, Banse X, Docquier PL, Luyckx S, Delloye C. Effect of freeze-drying and gamma irradiation on the mechanical properties of human cancellous bone. *J Orthop Res* 2000;18:426–431.
 29. Cornu O, Boquet J, Nonclercq O, Docquier P-L, Van Tomme J, Delloye C, Banse X. Synergetic effect of freeze-drying and gamma irradiation on the mechanical properties of human cancellous bone. *Cell Tissue Bank* 2011;12:281–288.
 30. Monje A, O'valle F, Monje-Gil F, Ortega-Oller I, Mesa F, Wang HL, Galindo-Moreno P. Cellular, Vascular, and Histomorphometric Outcomes of Solvent-Dehydrated vs Freeze-Dried Allogeneic Graft for Maxillary Sinus Augmentation: A Randomized Case Series. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32:121–127.
 31. Van Der Donk S, Weernink T, Buma P, Aspenberg P, Slooff TJH, Schreurs BW. Rinsing Morselized Allografts Improves Bone and Tissue Ingrowth. *Clin Orthop Relat Res* 2003;408:302–310.
 32. Khan SN, Cammisia FP, Jr, Sandhu HS, Diwan AD, Girardi FP, Lane JM. The Biology of Bone Grafting. *J Am Acad Orthop Surg* 2005;13:77–86.
 33. Kattz J. The Effects of Various Cleaning and Sterilization Processes on Allograft Bone Incorporation. *J Long-Term Eff Med* 2010;20:271–276.
 34. Thorén K, Aspenberg P, Thorngren KG. Lipid Extracted Bank Bone: Bone Conductive and Mechanical Properties. *Clin Orthop Relat Res* 1995;311:232–246.
 35. Thoren K, Aspenberg P, Thorngren KG. Lipid extraction decreases the specific immunologic response to bone allografts in rabbits. *Acta Orthop Scand* 1993;64:44–46.
 36. Kreuz FP, Hyatt GW, Turner TC, Bassett AL. The preservation and clinical use of freeze-dried bone. *J Bone Joint Surg Am* 1951;33-a:863–872; passim.
 37. Kreuz FP, Hyatt GW, Turner TG, Bassett CL. Use of preserved tissues in orthopedic surgery. A.M.A. *Archives of Surgery* 1952;64:148–153.
 38. Mulliken JB, Glowacki J, Kaban LB, Folkman J, Murray JE. Use of demineralized allogeneic bone implants for the correction of maxillocraniofacial deformities. *Ann Surg* 1981;194:366–372.
 39. Pereira E, Messias A, Dias R, Judas F, Salvoni A, Guerra F. Horizontal Resorption of Fresh-Frozen Corticocancellous Bone Blocks in the Reconstruction of the Atrophic Maxilla at 5 Months. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(Suppl 2):e444–458.
 40. Deluiz D, Oliveira LS, Pires FR, Tinoco EMB. Time-Dependent Changes in Fresh-Frozen Bone Block Grafts: Tomographic, Histologic, and Histomorphometric Findings. *Clin Implant Dent R* 2015;17:296–306.
 41. Acocella A, Bertolai R, Ellis Iii E, Nissan J, Sacco R. Maxillary alveolar ridge reconstruction with monocortical fresh-frozen bone blocks: A clinical, histological and histomorphometric study. *J Cranio Maxill Surg* 2012;40:525–533.
 42. Keith JD, Petrungaro P, Leonetti JA, Elwell CW, Zeren KJ, Caputo C, Nikitakis NG, Schopf C, Warner MM. Clinical and histologic evaluation of a mineralized block allograft: Results from the developmental period (2001-2004). *Int J Periodont Rest* 2006;26:321–327.
 43. Nissan J, Marilena V, Gross O, Mardinger O, Chaushu G. Histomorphometric analysis following augmentation of the anterior atrophic maxilla with cancellous bone block allograft. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:84–89.
 44. Spin-Neto R, Stavropoulos A, Coletti FL, Pereira LA, Marcantonio E Jr, Wenzel A. Remodeling of cortical and corticocancellous fresh-frozen allogeneic block bone grafts – a radiographic and histomorphometric comparison to autologous bone grafts. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:747–752.
 45. Artzi Z, Anavi-Lev K, Kozlovsky A, Chaushu L, Schwarz F, Tal H. Bone-to-Implant Contact and New Bone Formation Within Human Freeze-Dried Bone Blocks Grafted Over Rabbit Calvaria. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32:768–773.
 46. Laino L, Iezzi G, Piattelli A, Lo Muzio L, Cicciu M. Vertical ridge augmentation of the atrophic posterior mandible with sandwich technique: bone block from the chin area versus corticocancellous bone block allograft--clinical and histological prospective randomized controlled study. *Biomed Res Int* 2014;2014:982104.
 47. Contar CMM, Sarot JR, Da Costa MB, Bordini J, De Lima AaS, Alanis LRA, Trevilatto PC, Machado MaN. Fresh-Frozen Bone Allografts in Maxillary Ridge Augmentation: Histologic Analysis. *J Oral Implantol* 2011;37:223–231.
 48. Spin-Neto R, Stavropoulos A, Coletti FL, Faeda RS, Pereira LA, Marcantonio E Jr. Graft incorporation and implant osseointegration following the use of autologous and fresh-frozen allogeneic block bone grafts for lateral ridge augmentation. *Clin Oral Implants Res* 2014;25:226–233.
 49. Schlee M, Dehner JF, Baukloh K, Happe A, Seitz O, Sader R. Esthetic outcome of implant-based reconstructions in augmented bone: comparison of autologous and allogeneic bone block grafting with the pink esthetic score (PES). *Head & Face Medicine* 2014;10:21.
 50. Nissan J, Marilena V, Gross O, Mardinger O, Chaushu G. Histomorphometric analysis following augmentation of the posterior mandible using cancellous bone-block allograft. *J Biomed Mater Res A* 2011;97A:509–513.
 51. Novell J, Novell-Costa F, Ivorra C, Fariñas O, Munilla A, Martinez C. Five-Year Results of Implants Inserted Into Freeze-Dried Block Allografts. *Implant Dent* 2012;21:129–135.
 52. Lampert RC, Braidy HF, Zweig BE, Krutyansky A, Chuang SK. Intraoral Autogenous VS Allogeneic Block Grafts in Preparation for Dental Implants Placement: A Retrospective Cohort Study. *J Oral Maxillofac Surg* 2015;73:e30–e31.
 53. Ortiz-Vigon A, Suarez I, Martinez-Villa S, Sanz-Martin I, Bollain J, Sanz M. Safety and performance of a novel collagenated xenogeneic bone block for lateral alveolar crest augmentation for staged implant placement. *Clin Oral Implants Res* 2018;29:36–45.
 54. Mcallister BS, Haghighat K. Bone augmentation techniques. *J. Periodontol* 2007;78:377–396.
 55. Longoni S, Dusi L, Baldini A, Marino SG, Sartori M. Preoperative adaptation of allogeneic bone graft using a stereolithographic model: case report of a fixed complete denture. *Journal of Osseointegration* 2013;5:31–36.
 56. Jacotti M. Simplified onlay grafting with a 3-dimensional block technique: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21:635–639.
 57. Lumetti S, Consolo U, Galli C, Multinu A, Piersanti L, Bellini P, Manfredi E, Corinaldesi G, Zaffe D, Macaluso GM, Marchetti C. Fresh-frozen bone blocks for horizontal ridge augmentation in the upper maxilla: 6-month outcomes of a randomized controlled trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014;16:116–123.
 58. Pendarvis WT, Sandifer JB. Localized Ridge Augmentation Using a Block Allograft with Subsequent Implant Placement: A Case Series. *Int J Periodont Rest* 2008;28:509–516.
 59. Wallace S, Gellin R. Clinical evaluation of freeze-dried cancellous block allografts for ridge augmentation and implant placement in the maxilla. *Implant Dent* 2010;19:272–279.
 60. Nissan J, Ghelfan O, Mardinger O, Calderon S, Chaushu G. Efficacy of Cancellous Block Allograft Augmentation Prior to Implant Placement in the Posterior Atrophic Mandible. *Clin Implant Dent R* 2011;13:279–285.
 61. Sbordone C, Toti P, Guidetti F, Califano L, Santoro A, Sbordone L. Volume Changes of Iliac Crest Autogenous Bone Grafts After Vertical and Horizontal Alveolar Ridge Augmentation of Atrophic Maxillas and Mandibles: A 6-Year Computerized Tomographic Follow-Up. *J Oral Maxillofac Surg* 2012;70:2559–2565.

Complex case rehabilitation using CAD/CAM bone blocks

KEYWORDS *vertical augmentation, allogenic bone substitutes, CAD/CAM bone block, bone block resorption*

This case presentation shows a complex case rehabilitation using cad/cam allogenic bone blocks at 6 implant sites in the mandible. The process of deriving allogenic cad/cam bone blocks and its safety is thoroughly discussed. The bone width and height is evaluated with a CBCT before augmentation, with the bone block and 6 and 21 months after augmentation. Between 0–24% of augmented bone was resorbed after 21 months. The technique appears to be a reliable method to augment large bone volumes. Future studies should evaluate the efficiency of cad/cam bone block augmentation using randomized clinical controlled trials.