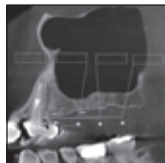


Anatomische Eigenschaften und ossäre Dimensionen unbezahnter Regionen im oberen Seitenzahnbereich von zur Implantattherapie überwiesenen Patienten



Leandro Soeiro de Souza Nunes, DDS, MSc¹
 Michael M. Bornstein, PD Dr. med. dent.²
 Pedram Sendi, PD Dr. med., Dr. med. dent.³
 Daniel Buser, Prof. Dr. med. dent.⁴

In dieser Studie wurde mithilfe der digitalen Volumentomografie (DVT) die Breite und Höhe unbezahnter Regionen im oberen Seitenzahnbereich von Patienten ermittelt, die zur Implantatbehandlung überwiesen wurden. In die Studie eingeschlossen wurden insgesamt 122 DVT-Aufnahmen, sodass insgesamt 252 unbezahnte Regionen analysiert werden konnten. Die orofaziale Kammbreite wurde auf den koronalen Schnitten im rechten Winkel zum Alveolarkamm gemessen und die Knochenhöhe in den entsprechenden Sagittalschnitten ermittelt. Außerdem wurden folgende sekundäre Ergebnisparameter evaluiert: die Sinusbodenmorphologie, das Vorhandensein von Septen in der Kieferhöhle und die Dicke der Sinusmembran. Die mittlere Kammbreite betrug in allen untersuchten Bereichen 8,28 mm und die mittlere Knochenhöhe 7,22 mm. Der Anteil der Patienten mit einer Kammbreite < 6 mm betrug bei fehlenden Prämolaren 27 % und bei fehlenden Molaren 7,8 %. Die Knochenhöhe nahm von den Prämolaren- zu den Molarenregionen ab, wobei ein beträchtlicher Anteil der ersten und zweiten Molarenregion eine Knochenhöhe < 5 mm aufwies (54,12 % bzw. 44,64 %). Bezüglich der Sinusbodenmorphologie waren 53 % der unbezahnten Regionen flach. Ein Septum fand sich bei 67 der unbezahnten Regionen (26,59 %). Die Analyse der Sinusmembran erbrachte 88 Regionen (34,9 %) mit erhöhter Mukosadicke (> 2 mm). Für die Kammbreite und mittlere Knochenhöhe waren die Position des unbezahnten Bereichs und die Sinusbodenmorphologie jeweils statistisch signifikante Variablen. Mit dieser Studie wurde bestätigt, dass bei einem Großteil der unbezahnten Regionen im oberen Seitenzahnbereich vor einer Implantation eine Sinusbodenelevation erforderlich ist. Daher sind bei den meisten Patienten zur Behandlungsplanung detaillierte dreidimensionale DVT-Aufnahmen indiziert. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2013;33:313–321.)

Eine Implantation soll in erster Linie eine vorhersagbare erfolgreiche Behandlung sein, mit der bei einem geringen Komplikationsrisiko langfristig die orale Funktion und Ästhetik sichergestellt werden¹. Grundlage einer erfolgreichen Behandlung ist eine sorgfältige präoperative Untersuchung mit genauer Beurteilung der dentalen und anatomischen Situation. Einer der wichtigsten Schritte ist hierbei die Bestimmung des Knochenangebots im oberen Seitenzahnbereich, wenn dort ein Implantat geplant wird, da oft eine horizontale und vertikale Knochenatrophie besteht. Die horizontalen und vertikalen Alveolarkammveränderungen nach einer Zahnextraktion wurden ausgiebig an Mensch und Tier untersucht^{2–5}. Mehrere Studien haben gezeigt, dass der Knochenverlust am zervikalen Drittel des Alveolarkamms nach Abschluss der Weichgewebs- und Knochenheilung fazial deutlicher ausfällt als oral^{6–11}. Diese Veränderungen können das Setzen von Implantaten mit einem ausreichenden Durchmesser erschweren. Außerdem ist die Knochenhöhe im Bereich der

¹ ITI Scholar, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Fakultät, Universität Bern, Bern, Schweiz.

² Privatdozent, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Fakultät, Universität Bern, Bern, Schweiz.

³ Hauptdozent, Institut für klinische Epidemiologie & Biostatistik, Universitätsspital Basel, Basel, Schweiz.

⁴ Professor und Klinikdirektor, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Fakultät, Universität Bern, Bern, Schweiz.

Korrespondenz an: Prof. Dr. Daniel Buser, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Freiburgstraße 7, CH-3010 Bern, Schweiz. Fax: +41 31 632 98 84. E-Mail: daniel.buser@zmk.unibe.ch

Der erste und der zweite Autor haben in gleichem Umfang zu dieser Studie beigetragen.

©2013 by Quintessence Publishing Co Inc.

Prämolaren und Molaren oft durch eine Expansion und Pneumatisierung der Kieferhöhle nach einer Exzision reduziert¹².

Nach der Präparation des Implantatbetts sollte das Implantat idealerweise von Knochen umgeben und die faciale Knochenwand mindestens 1 bis 2 mm dick sein, um eine ausreichende Abstützung der Weichgewebe zu gewährleisten und eine Resorption der facialen Knochenwand zu verhindern^{1,13,14}. Die minimale Knochenhöhe für das Setzen kurzer Implantate wird mit 6 bis 7 mm angegeben^{15,16}. Kurze Implantate werden im oberen Seitenzahnbereich meist in Kombination mit weiteren Implantaten verwendet, die ein Verblocken der implantatgetragenen Kronen ermöglichen. Bei nicht verblockten Einzelzahnimplantaten im Bereich der Molaren wird weiterhin eine Mindestlänge von 10 mm bevorzugt, um eine ausreichende knöchernen Verankerung für die einwirkenden okklusalen Kräfte zu erreichen. Die Sinusbodenelevation ist ein inzwischen weithin akzeptiertes Verfahren, das routinemäßig angewandt wird, um eine ausreichende Knochenhöhe im Seitenzahnbereich der Maxilla zu schaffen¹⁷. Ein laterales Fenster dient weiterhin am häufigsten als Zugang für die Sinusbodenelevation¹⁸. Inzwischen stehen auch weniger invasive Alternativen zur Verfügung, von denen meist die transalveoläre Osteotomie verwendet wird^{19,20}.

In dieser Studie wurde bei Patienten, die zur Implantatbehandlung an diese Klinik überwiesen wurden, mithilfe der dreidimensionalen digitalen Volumentomografie (DVT) die Knochenanatomie der unbezahnten Regionen im oberen Seitenzahnbereich ermittelt. Mithilfe der Ergebnisse sollte festgestellt werden, wie oft vor einer Implantatbehandlung im oberen Seitenzahnbereich eine horizontale und vertikale Knochenaugmentation indiziert ist. Als sekundäre Ergebnis-

parameter wurden zudem die Sinusbodenmorphologie, das Vorhandensein von Septen und die Dicke der Sinusbodenmukosa bestimmt.

Material und Methode

Patienten

In diese Studie wurden alle DVT-Aufnahmen (3D Accuitomo XYZ Slice View Tomograph, Morita) von Patienten aufgenommen, die zwischen Januar und Dezember 2010 zur Implantatbehandlung im oberen Seitenzahnbereich an die Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie der Universität Bern in Bern, Schweiz, überwiesen wurden. Die Aufnahmen wurden unabhängig vom Field of View (FOV: 4 x 4 cm, 6 x 6 cm oder 8 x 8 cm) berücksichtigt. Insgesamt wurden 122 DVT-Aufnahmen ausgewertet, sodass insgesamt 252 unbezahnte Bereiche analysiert werden konnten.

Radiografische Analyse

Die DVT-Bilder wurden auf einem Eizo-Flexscan-Monitor bei einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixel (Eizo Nanao) ausgewertet. Die Daten wurden mit Schnitten von 1 mm (FOV: 4 x 4 cm; 6 x 6 cm) und 1,28 mm (FOV: 8 x 8 cm) Dicke rekonstruiert. Alle Messungen wurden von demselben Untersucher durchgeführt, der gegenüber den klinischen Befunden und dem Follow-up der untersuchten Patienten verblindet war (LN).

Um die Prämolaren- und Molarenregionen auszuwerten, wurden die Koronalschnitte so ausgerichtet, dass der Gaumen horizontal verlief und die Sagittalschnitte im rechten Winkel zum Alveolarkamm standen. Für die Messungen wurde der Bereich in der Mitte des geplanten Implantat-

betts 5 mm von der distalen Seite des nach anterior angrenzenden Zahns oder 5 mm der mesialen Seite des nach posterior angrenzenden Zahns und 8 mm vom anterioren Bereich der angrenzenden unbezahnten Region ausgewählt (Abb. 1). Zur Durchführung der Messungen wurden die evaluierten Bilder der rekonstruierten Daten, die den gesamten Alveolarkamm und die assoziierten anatomischen Strukturen zeigten (d. h. die basalen Aspekte der Kieferhöhle), mit dem größtmöglichen Vergrößerungsfaktor dargestellt. Die Bildauswertung erfolgte mit einer spezialisierten Software für die Bildverarbeitung (i-Dixel, Morita).

Die orofaziale Knochenkammbreite wurde in den Koronalschnitten im rechten Winkel zum Alveolarkamm und 2 mm unterhalb der Kammspitze gemessen, um repräsentativere Werte zu erhalten und die konvexe Form des Alveolarkamms auszugleichen (Abb. 2). Die für die Kammbreite ermittelten Werte wurden in vier Gruppen eingeteilt: < 4 mm, 4 bis 5,99 mm, 6 bis 9,99 mm und ≥ 10 mm. Die Höhe des oberen Seitenzahnbereichs wurde auf den entsprechenden Sagittalschnitten an drei Punkten ermittelt, wobei die Längsachse der Nachbarzähne berücksichtigt wurde: in der Mitte der Lücke (Hc), 2 mm mesial (Hm) und 2 mm distal (Hd) (Abb. 3). Die mittleren Messwerte für die Knochenhöhe wurden in vier Gruppen eingeteilt: < 5 mm, 5 bis 7,99 mm, 8 bis 9,99 mm und ≥ 10 mm.

Außerdem wurden die folgenden sekundären Ergebnisparameter untersucht: Die Sinusbodenmorphologie wurde durch das Scannen der sagittalen DVT-Bilder analysiert und in zwei Gruppen eingeteilt: (1) schräg bei einem Höhenunterschied zwischen Hm-Hc und/oder Hc-Hd ≥ 1 mm oder (2) flach bei einem Höhenunterschied zwischen Hm-Hc und/oder Hc-Hd < 1 mm. Das Vor-

Abb. 1 Auswahl der Schnittbildposition des DVT bei (a) Einzelzahnlücken und (b) mehreren fehlenden Zähnen: 5 mm distal des anterioren Nachbarzahns oder 5 mm mesial des posterioren Nachbarzahns und 8 mm vom anterioren Bereich eines angrenzenden unbezahnten Bereichs.

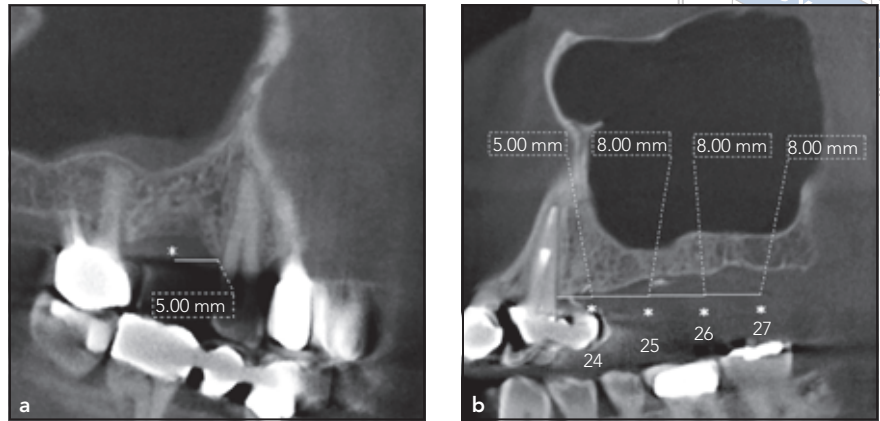


Abb. 2 (links) Auf koronalen DVT-Aufnahmen wurde die orofaziale Breite des Knochenkamms im Bereich eines fehlenden ersten Molaren links im Oberkiefer gemessen. Die Messungen erfolgten 2 mm unter dem höchsten Punkt des Alveolarkamms.

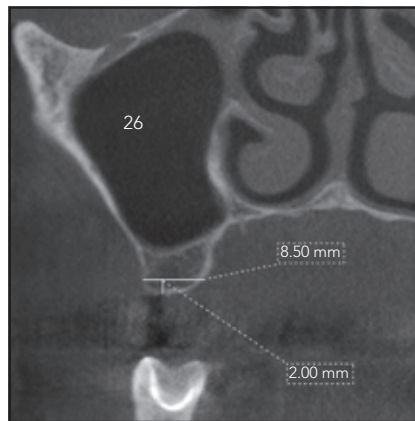
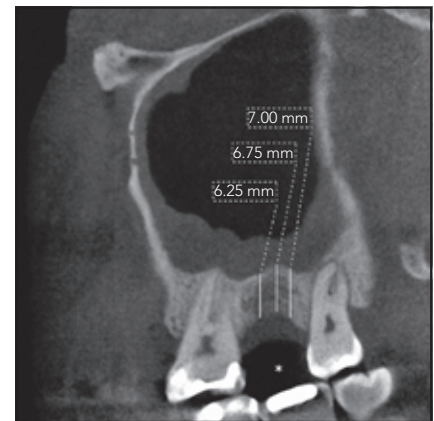


Abb. 3 (rechts) Analyse der Höhe des oberen Seitenzahnbereichs auf sagittalen DVT-Schnitten. Die Messungen erfolgten an drei Punkten: in der Mitte der Lücke, 2 mm mesial und 2 mm distal davon.



handensein von Septen in der Kieferhöhle wurde aufgezeichnet und die Dicke der Sinusmembran in Millimetern auf den entsprechenden Koronalschnitten gemessen. Die Messungen erfolgten an dem am weitesten kaudal gelegenen Rezessus der Kieferhöhle. Die Membrandicke wurde in drei Gruppen eingeteilt: 0 bis 1,00 mm, 1,01 bis 2 mm und > 2 mm.

Statistische Auswertung

Alle Daten wurden zunächst deskriptiv analysiert. Zum Nachweis signifikanter Unterschiede in den

Datensätzen für die linke und rechte Seite des Oberkiefers wurde ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest für gepaarte Daten mit der Verwendung exakter P-Werte durchgeführt. Da sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Datensätzen fanden, wurden die unbezahnten Bereiche in Gruppen mit ersten und zweiten Prämolaren und ersten und zweiten Molaren eingeteilt. Mit dem Kruskal-Wallis-Test wurde der Einfluss der Position, der Sinusbodenmorphologie, des Alters und des Geschlechts des Patienten auf die Knochenbreite und mittlere Knochenhöhe überprüft. Für die ermittelten Werte wurden die 95%-Konfidenzintervalle berechnet.

Für alle statistischen Tests galt ein Signifikanzniveau von $P \leq 0,05$. Alle Analysen erfolgten mit einer spezialisierten Software (STATA 11, Stata-Corp).

Ergebnisse

Für die Studie wurden die Daten von 122 Patienten (56 Männern, 66 Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 57,5 Jahren (Bereich: 21 bis 92 Jahre) ausgewertet. Die Probengröße bestand aus 252 unbezahnten Bereichen. Am häufigsten untersucht wurden unbezahnte Bereiche in der Position des ersten Molaren ($n = 85$,

Tabelle 1 Häufigkeitsverteilung der untersuchten Zähne nach der Kammbreite (mm)

	< 4,00	4,00 bis 5,99	6,00 bis 9,99	≥ 10	Gesamt
Erste Prämolaren	4 (8,9%)	12 (26,7%)	28 (62,2%)	1 (2,2%)	45
Zweite Prämolaren	3 (4,5%)	11 (16,7%)	46 (69,7%)	6 (9,1%)	66
Erste Molaren	0	5 (5,9%)	50 (58,9%)	30 (35,2%)	85
Zweite Molaren	1 (1,8%)	5 (8,9%)	27 (48,2%)	23 (41,1%)	56
Gesamt	8 (3,2%)	33 (13,1%)	151 (59,9%)	60 (23,8%)	252

Tabelle 2 Häufigkeitsverteilung der untersuchten Zähne nach der mittleren Knochenhöhe (mm)

	< 5,00	5,00 bis 7,99	8,00 bis 9,99	≥ 10	Gesamt
Erste Prämolaren	0	2 (4,4%)	6 (13,3%)	37 (82,3%)	45
Zweite Prämolaren	14 (21,2%)	24 (36,7%)	8 (12,1%)	20 (30%)	66
Erste Molaren	46 (54,1%)	29 (34,1%)	6 (7,1%)	4 (4,7%)	85
Zweite Molaren	25 (44,6%)	28 (50%)	2 (3,6%)	1 (1,8%)	56
Gesamt	85 (33,7%)	83 (33%)	22 (8,7%)	62 (24,6%)	252

33,73 %), gefolgt von Bereichen in Position der zweiten Prämolaren ($n = 66$, 26,19 %) und der zweiten Molaren ($n = 56$, 22,22 %).

Die mittlere Knochenbreite aller untersuchten Bereiche betrug 8,28 mm (Bereich: 1,38 bis 15,88 mm, Standardabweichung [SA] \pm 2,52 mm). Je weiter distal der Bereich lag, desto größer war die mittlere Kammbreite. Der Anteil der Bereiche mit einer Kammbreite < 6 mm betrug 27,03 % (30 von 111) in der Prämolaren- und 7,80 % (11 von 141) in Molarenregion (Tabelle 1). Der umgekehrte Trend fand sich bezüglich der Knochenhöhe. Die mittlere Knochenhöhe aller untersuchten unbezahnten Bereiche

betrug 7,22 mm (Bereich: 0,48 bis 19,21 mm, SA \pm 4,09) und nahm in Richtung auf die Molarenpositionen ab. Ein Großteil der Bereiche in Position der ersten und zweiten Molaren (54,12 % bzw. 44,64 %, Tabelle 2) wies eine Knochenhöhe < 5 mm auf.

Bei der Sinusbodenmorphologie waren 53 % der unbezahnten Bereiche flach. Allgemein wiesen die Molarenbereiche öfter einen flachen Sinusboden auf, während er in den Prämolarenbereichen meistens schräg verlief (Tabelle 3). In 67 Bereichen (26,59 %) fand sich ein Septum. Die Auswertung der Sinusmembran an dem am weitesten kaudal gelegenen Rezessus der Kieferhöhle ergab 99

Bereiche (39,3 %) mit einer Mukosadicke von 0 bis 1 mm, 65 Bereiche (25,8 %) mit einer Mukosadicke von 1 bis 2 mm und 88 Bereiche (34,9 %) mit einer Mukosadicke > 2 mm (Tabelle 3).

Weder das Geschlecht ($P = 0,0974$) noch das Alter ($P = 0,102$) der Patienten wirkten sich statistisch signifikant auf die Knochenbreite aus, wohl aber die Position des unbezahnten Bereichs ($P = 0,0001$; Tabelle 4) und die Sinusbodenmorphologie ($P = 0,0138$). Dabei bedeuteten flache Konfigurationen eine Zunahme der Knochenbreite. Auch auf die mittlere Knochenhöhe wirkten sich weder das Geschlecht ($P = 0,1172$),

Tabelle 3 Häufigkeitsverteilung der untersuchten Zähne nach der Sinusbodenmorphologie

	Schräg	Flach	Gesamt
Erste Prämolaren	17 (63%)	10 (37%)	27*
Zweite Prämolaren	40 (60,6%)	26 (39,4%)	66
Erste Molaren	28 (32,9%)	57 (67,1%)	85
Zweite Molaren	23 (41%)	33 (59%)	56
Gesamt	108 (46,2%)	126 (53,8%)	234

*Bei 18 Prämolaren bestand kein Zusammenhang mit der Kieferhöhle.

Tabelle 4 Verteilung der in den koronalen DVT-Schnitten gemessenen mittleren Knochenbreite (mm)

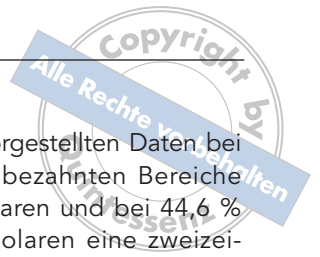
	Mittelwert	Minimum	Maximum	95 % CI	Beobachtungen
Erste Prämolaren	6,30	1,38	10,88	5,73 bis 6,87	45
Zweite Prämolaren	7,37	3,04	13,75	6,88 bis 7,87	66
Zweite Molaren	9,24	4,63	15,88	8,77 bis 9,72	85
Zweite Molaren	9,49	3,00	15,20	8,80 bis 10,19	56

CI = Konfidenzintervall.

Tabelle 5 Verteilung der in den sagittalen DVT-Schnitten gemessenen mittleren Knochenhöhe (mm)

	Mittelwert	Minimum	Maximum	95 % CI	Beobachtungen
Erste Prämolaren	13,34	5,79	19,21	12,40 bis 14,29	45
Zweite Prämolaren	7,68	1,46	17,25	6,86 bis 8,50	66
Erste Molaren	5,04	0,48	10,71	4,56 bis 5,51	85
Zweite Molaren	5,08	0,63	12,67	4,48 bis 5,68	56

CI = Konfidenzintervall.



noch das Alter ($P = 0,635$) statistisch signifikant aus, wohl aber die Position des unbezahnten Bereichs ($P = 0,0001$; Tabelle 5) und die Sinusbodenmorphologie ($P = 0,0002$), wobei ein schräger Sinusboden eine Zunahme der mittleren Knochenhöhe bedeutete.

Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde anhand von DVT-Aufnahmen die Breite und Höhe unbezahnter Regionen im oberen Seitenzahnbereich von Patienten untersucht, die zur Implantatbehandlung überwiesen worden waren. Die mittlere Knochenbreite aller untersuchten Bereiche betrug 8,28 mm, die mittlere Knochenhöhe 7,22 mm. Sowohl die mittlere Knochenbreite als auch die mittlere Knochenhöhe wurden statistisch signifikant von der Position des unbezahnten Bereichs und der Sinusbodenmorphologie beeinflusst. Dabei wiesen die Prämolarenbereiche eher eine reduzierte Breite, aber eine für eine Implantation ausreichende Höhe des Knochens auf. Bei den Molarenbereichen zeigte sich das umgekehrte Verhältnis. Bei 83,7 % aller unbezahnten Molarenbereiche war der Knochen ≥ 6 mm breit, sodass Implantate mit einem Standarddurchmesser gesetzt werden konnten, ohne dass eine Augmentation notwendig war. Bei einem flachen Sinusboden war der Knochen breiter und bei einem schrägen Sinusboden höher. Eine Einschränkung der vorliegenden Studie ist ihr retrospektives Design. In zukünftigen prospektiven Studien sollten Röntgenschablonen verwendet werden, die eine bessere Lokalisation der unbezahnten Bereiche für die Messungen ermöglichen.

Bei der Planung von Implantaten im oberen Seitenzahnbereich muss die Kieferhöhle als wichtige anatomische Struktur berücksichtigt werden.

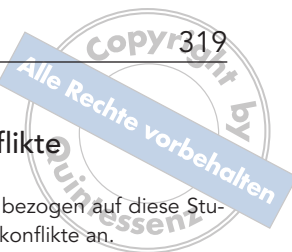
In der Literatur finden sich zur Pneumatisierung der Kieferhöhle nach der Extraktion von Seitenzähnen widersprüchliche Angaben. Manche Autoren berichten von einer signifikanten Größenzunahme der Kieferhöhle nach einer Extraktion oder bei unbezahnten Patienten im Vergleich zu bezahnten^{12,21,22}, während andere keinen Einfluss des Zahnstatus auf das Kieferhöhlenvolumen belegen konnten^{23,24}. Sharan und Madjar stellten fest, dass die Pneumatisierung der Kieferhöhle während der Heilung einer Extraktionsalveole über die ersten vier bis sechs Monate erfolgt, aber nach der Entwicklung von reifem Knochen in der Extraktionsalveole vermutlich vollständig aufhört.

Anhand der verbliebenen Knochenhöhe und -breite sowie der Sinusbodenanatomie von unbezahnten Regionen im oberen Seitenzahnbereich kann der Arzt entscheiden, ob zur Sinusbodenelevation ein Zugang über ein laterales Fenster oder ein transkrestales Vorgehen besser geeignet ist. Das laterale Fenster führt zu einer deutlich höheren Morbidität als das transkrestale Vorgehen. Allerdings kann der Knochen hierbei nur um 2 bis 4 mm erhöht werden, und es muss eine größere Menge an nativem Knochen eingebracht werden²⁵. Daher wird für ein Implantat mit einer Länge von 10 mm eine Knochenhöhe von mindestens 6 mm empfohlen. Liegt die Knochenhöhe unter 5 mm und ist das nach einer Osteotomie gesetzte Implantat kürzer als 10 mm, ist das Implantatüberleben nach einer mittleren Beobachtungszeit von bis zu 3,2 Jahren deutlich reduziert²⁶. Sobald ein laterales Fenster angelegt werden soll, ist das Erreichen einer Primärstabilität die wichtigste Voraussetzung für eine simultane Implantation²⁵. Aktuelle Leitlinien fordern, dass bei einer subantralen Knochenhöhe unter 5 mm zur Sinusbodenelevation ein mehrstufiges Vorgehen mit lateralem Fenster indiziert ist²⁷. Daher wäre

bei den hier vorgestellten Daten bei 54,1 % der unbezahnten Bereiche der ersten Molaren und bei 44,6 % der zweiten Molaren eine zweizeitige Sinusbodenelevation für eine Implantatbehandlung erforderlich. Im Gegensatz dazu war bei keinem unbezahnten Bereich in Position der ersten Prämolaren und bei nur 21,2 % in Position der zweiten Prämolaren eine Knochenhöhe unter 5 mm vorhanden, sodass in den meisten Fällen eine Implantation mit simultaner Sinusbodenelevation oder sogar ohne Sinusbodenelevation möglich war.

In vorausgegangenen radiologischen Studien wurde auf Panoramaröntgenaufnahmen der Zusammenhang zwischen der Morphologie des unbezahnten Alveolarkamms und der Kieferhöhle untersucht^{12,22,28,29}. Leider kann die Region of Interest auf Panoramaröntgenaufnahmen nur zweidimensional betrachtet werden. Weiterhin wird die Messung des Abstands zwischen den anatomischen Orientierungspunkten durch Vergrößerungs- und Verzerrungseffekte beeinflusst. In einer kürzlich durchgeführten retrospektiven Studie an den dreidimensionalen Daten einer Computertomografie (CT) wurden 127 Patienten mit mindestens einem fehlenden Zahn in den oberen posterioren Sextanten untersucht³⁰. Auf den CT-Schnittbildern wurden Knochenhöhe und -breite in einer Entfernung von 1 mm, 3 mm und 7 mm von dem am weitesten koronal gelegenen Punkt des Alveolarkamms untersucht. Diese Befunde ähneln denen der hier vorgestellten DVT-Studie, indem die Knochenhöhe vom unbezahnten Bereich des ersten Prämolaren zu dem der Molaren deutlich abnahm und die Knochenbreite im Bereich der Molaren allgemein höher war.

Nicht empfohlen wird eine transkrestale Sinusbodenelevation bei Fällen mit ausgeprägter Atrophie, wobei präoperativ abgesehen von der subantralen Knochenhöhe auch die



Anatomie und die Konfiguration des Sinusbodens berücksichtigt werden müssen²⁷. Bei den hier untersuchten Patientendaten wiesen 53 % der unbezahnten Bereiche einen flachen Sinusboden auf. Bei einem schrägen Sinusboden besteht mit dieser Technik ein erhöhtes Risiko für eine Membranperforation²⁶. Daher empfehlen aktuelle Leitlinien eine subantrale Knochenhöhe über 6 mm und eine horizontale Sinusbodenanatomie als Voraussetzung für eine Sinusbodenelevation mit transkrestaler Osteotomie²⁷.

Anatomische Varianten in der Kieferhöhle, wie knöcherne Septen (Underwood-Septen), erhöhen das Risiko für eine Membranperforation während der Sinusbodenelevation^{31–33}. Die Sinussepten teilen den Sinusboden partiell in mindestens zwei Kompartimente, die sich von der medialen zur lateralen Sinuswand ziehen. In der Literatur wird die Prävalenz von Sinussepten mit 16 bis 35,4 % angegeben^{33–36}. Außerdem ist ihre Orientierung nicht immer die gleiche; es gibt bukkopalatinale, sagittale und transversale Septen³³. In der hier vorliegenden Studie fand sich bei 67 der unbezahnten Bereiche (26,59 %) ein Septum, was der in der Literatur angegebenen Prävalenz entspricht.

Bislang gibt es in der Literatur kaum radiologische Daten zu den Abmessungen und Veränderungen der Sinusmembran. In der Computer- und Magnetresonanztomografie sind koronale Schnitte zur Evaluation der Schleimhautdicke in der Kieferhöhle etabliert und die Messungen werden immer rechtwinklig zum darunterliegenden Knochen durchgeführt^{35–41}. In der Literatur wird bei asymptomatischen Patienten eine hohe Prävalenz für eine verdickte Sinusmukosa angegeben^{42,43}. In einer aktuellen Analyse der DVTs von Patienten, bei denen eine Implantatbehandlung im oberen Seitenzahnbereich geplant war, waren mukosale Pathologien häufi-

ger (55 %) als in den oben erwähnten Studien⁴⁴. Eine Ursache könnte die Verwendung präziser Schwellenwerte zur Definition einer pathologischen Sinusmembran (2 mm) sein. In der vorliegenden Studie wiesen 88 Bereiche (34,9 %) in der basalen Position der untersuchten Kieferhöhle eine Mukosadicke über 2 mm auf. Trotzdem sollte die klinische Relevanz dieses Werts unter Vorbehalt beurteilt werden, da noch weitere Studien erforderlich sind, um festzustellen, wie viele dieser Befunde und welche Mukosadicke vor einer Implantation und/oder Sinusbodenelevation behandelt werden muss.

Aufgrund der komplexen anatomischen Situation im oberen Seitenzahnbereich wurden bei Implantationen Schnittbildverfahren als radiologische Standarduntersuchungen zur präoperativen Behandlungsplanung vorgeschlagen^{45–47}. Dabei sollten möglichst immer die kleineren Sichtfelder der DVT verwendet werden, um das ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable) der medizinischen Radiologie zu befolgen⁴⁸. Die DVT könnte möglicherweise die CT bei der präzisen Diagnostik und Evaluation des vertikalen und horizontalen Knochenangebots im oberen Seitenzahnbereich und der Kieferhöhle ablösen. Sie besitzt klare Vorteile gegenüber der CT, z. B. die bessere Bildqualität bei geringerer Strahlenexposition⁴⁹.

Schlussfolgerungen

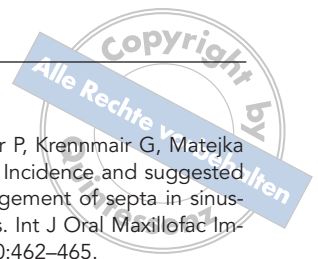
Mit dieser Studie wird bestätigt, dass bei einem Großteil der unbezahnten Regionen im oberen Seitenzahnbereich vor einer Implantation eine Sinusbodenelevation erforderlich war. Daher ist bei den meisten Patienten für eine zuverlässige Behandlungsplanung zunächst eine dreidimensionale radiologische Untersuchung mittels DVT notwendig.

Interessenkonflikte

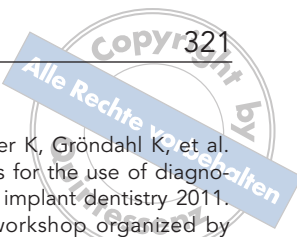
Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

Literatur

1. Buser D, Martin WD, Belser UC. Surgical considerations with regard to single-tooth replacements in the esthetic zone: Standard procedure in sites without bone deficiencies. In: Buser D, Belser U, Wismeijer D (eds). ITI Treatment Guide, vol 1. Implant Therapy in the Esthetic Zone. Berlin: Quintessenz, 2006:26–37.
2. 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.
3. Cardaropoli G, Araujo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites: An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 2003;30:809–818.
4. Botticelli D, Berglundh T, Lindhe J. Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites. *J Clin Periodontol* 2004;31:820–828.
5. Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
6. Pietrovovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent* 1967;17:21–27.
7. Araújo MG, Wennstrom JL, Lindhe J. Modeling of the buccal and lingual bone walls of fresh extraction sites following implant installation. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:606–614.
8. 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.
9. Flick S, Zuhr O, Wachtel H, Bolz W, Hürzeler M. Tissue alterations after tooth extraction with and without surgical trauma: A volumetric study in the beagle dog. *J Clin Periodontol* 2008;35:356–363.



10. Sanz M, Cecchinato D, Ferrus J, Pjetursson EB, Lang NP, Lindhe J. A prospective, randomized-controlled clinical trial to evaluate bone preservation using implants with different geometry placed into extraction sockets in the maxilla. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:13–21.
11. Januário AL, Duarte WR, Barriviera M, Mesti JC, Araújo MG, Lindhe J. Dimension of the facial bone wall in the anterior maxilla: A cone-beam computed tomography study. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:1168–1171.
12. Sharan A, Madjar D. Maxillary sinus pneumatization following extractions: A radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:48–56.
13. Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:113–119.
14. Belser UC. Replacement of an upper left persisting deciduous canine with a regular neck implant, restored with a ceramo-metal crown, horizontally screw-retained. In: Buser D, Belser U, Wismeijer D (eds). *ITI Treatment Guide, vol 1: Implant Therapy in the Esthetic Zone*. Berlin: Quintessence, 2006:159–177.
15. Pommer B, Frantal S, Willer J, Posch M, Watzek G, Tepper G. Impact of dental implant length on early failure rates: A meta-analysis of observational studies. *J Clin Periodontol* 2011;38:856–863.
16. Sun HL, Huang C, Wu YR, Shi B. Failure rates of short (≤ 10 mm) dental implants and factors influencing their failure: A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:816–825.
17. Strietzel FP. Sinus floor elevation and augmentation. Evidence-based analysis of prognosis and risk factors [in German]. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2004;8:93–105.
18. Bornstein MM, Chappuis V, von Arx T, Buser D. Performance of dental implants after staged sinus floor elevation procedures: 5-year results of a prospective study in partially edentulous patients. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:1034–1043.
19. Summers RB. A new concept in maxillary surgery. The osteotome technique. *Compend Contin Educ Dent* 1994;15:152–160.
20. Summers RB. The osteotome technique. Part 4. Future site development. *Compend Contin Educ Dent* 1995;16:1090–1099.
21. Harorh A, Bocutoğlu O. The comparison of vertical height and width of maxillary sinus by means of Waters' view radiograms taken from dentate and edentulous cases. *Ann Dent* 1995;54:47–49.
22. Ohba T, Langlais RP, Morimoto Y, Tanaka T, Hashimoto K. Maxillary sinus floor in edentulous and dentate patients. *Indian J Dent Res* 2001;12:121–125.
23. Arijji Y, Kuroki T, Moriguchi S, Arijji E, Kanda S. Age changes in the volume of the human maxillary sinus: A study using computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1994;23:163–168.
24. Arijji Y, Arijji E, Yoshiura K, Kanda S. Computed tomographic indices for maxillary sinus size in comparison with the sinus volume. *Dentomaxillofac Radiol* 1996;25:19–24.
25. Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: Clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl):218–236.
26. Pjetursson BE, Rast C, Brägger U, Schmidlin K, Zwahlen M, Lang NP. Maxillary sinus floor elevation using the (transalveolar) osteotome technique with or without grafting material. Part I: Implant survival and patients' perception. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:667–676.
27. Katsuyama H, Jensen SS. Treatment options for sinus floor elevation. In: Chen S, Buser D, Wismeijer D (eds). *ITI Treatment Guide, vol 5. Sinus Floor Elevation Procedures*. Berlin: Quintessence, 2006:33–57.
28. Saglam AA. The vertical heights of maxillary and mandibular bones in panoramic radiographs of dentate and edentulous subjects. *Quintessence Int* 2003;34:143–147.
29. Güler AU, Sumer M, Sumer P, Biçer I. The evaluation of vertical heights of maxillary and mandibular bones and the location of anatomic landmarks in panoramic radiographs of edentulous patients for implant dentistry. *J Oral Rehabil* 2005;32:741–746.
30. Pramstraller M, Farina R, Franceschetti G, Pramstraller C, Trombelli L. Ridge dimensions of the edentulous posterior maxilla: A retrospective analysis of a cohort of 127 patients using computerized tomography data. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:54–61.
31. Ulm CW, Solar P, Krennmair G, Matejka M, Watzek G. Incidence and suggested surgical management of septa in sinus-lift procedures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:462–465.
32. van den Bergh JP, ten Bruggenkate CM, Disch FJ, Tuinzing DB. Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clin Oral Implants Res* 2000;11:256–265.
33. Park YB, Jeon HS, Shim JS, Lee KW, Moon HS. Analysis of the anatomy of the maxillary sinus septum using 3-dimensional computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:1070–1078.
34. Krennmair G, Ulm C, Lugmayr H. Maxillary sinus septa: Incidence, morphology and clinical implications. *J Craniomaxillofac Surg* 1997;25:261–265.
35. Velásquez-Plata D, Hovey LR, Peach CC, Alder ME. Maxillary sinus septa: A 3-dimensional computerized tomographic scan analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:854–860.
36. Koymen R, Gocmen-Mas N, Karacayli U, Ortakoglu K, Ozen T, Yazici AC. Anatomic evaluation of maxillary sinus septa: Surgery and radiology. *Clin Anat* 2009;22:563–570.
37. Rak KM, Newell JD II, Yakes WF, Damiano MA, Luethke JM. Paranasal sinuses on MR images of the brain: Significance of mucosal thickening. *AJR Am J Roentgenol* 1991;156:381–384.
38. Min Y, Lee J, Shin J. Radiologic assessment of diseased mucosa of the maxillary sinus after functional endoscopic sinus surgery. *Acta Otolaryngol* 1994;114:657–662.
39. Peleg M, Chaushu G, Mazor Z, Ardekanian L, Bakoon M. Radiological findings of the post-sinus lift maxillary sinus: A computerized tomography follow-up. *J Periodontol* 1999;70:1564–1573.
40. Pruna X. Morpho-functional evaluation of osteomeatal complex in chronic sinusitis by coronal CT. *Eur Radiol* 2003;13:1461–1468.
41. Cagici CA, Yilmazer C, Hurcan C, Ozer C, Ozer F. Appropriate interslice gap for screening coronal paranasal sinus tomography for mucosal thickening. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2009;266:519–525.



42. Vallo J, Suominen-Taipale L, Huumonen S, Soikkonen K, Norblad A. Prevalence of mucosal abnormalities of the maxillary sinus and their relationship to dental disease in panoramic radiography: Results from the health 2000 health examination survey. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:e80–e87.
43. Havas TE, Motbey JA, Gullane PJ. Prevalence of incidental abnormalities on computed tomographic scans of the paranasal sinuses. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1988;114:856–859.
44. Janner SF, Caversaccio MD, Dubach P, Sendi P, Buser D, Bornstein MM. Characteristics and dimensions of the Schneiderian membrane: A radiographic analysis using cone beam computed tomography in patients referred for dental implant surgery in the posterior maxilla. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:1446–1453.
45. Dula K, Mini R, van der Stelt PF, Buser D. The radiographic assessment of implant patients: Decision-making criteria. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:80–89.
46. Harris D, Buser D, Dula K, et al. European association for osseointegration. EAO guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry. A consensus workshop organized by the European association for osseointegration in Trinity College Dublin. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:566–570.
47. Harris D, Horner K, Gröndahl K, et al. EAO guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European association for osseointegration at the Medical University of Warsaw. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23:1243–1253.
48. McCollough CH, Primak AN, Braun N, Kofler J, Yu L, Christner J. Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am* 2009;47:27–40.
49. Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 1: Traumatic injuries. *Dent Traumatol* 2007;23:95–104.