

Diplomarbeit

**Lateraler vs. krestaler Sinuslift – eine retrospektive
Pilotstudie**

eingereicht von

Janine Torbauer

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Zahnheilkunde

(Drⁱⁿ. med. dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit

Klinische Abteilung für orale Chirurgie und Kieferorthopädie

unter der Anleitung von

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Dr. med. dent. et. scient. med. Michael Payer

und

Univ. OÄ Priv.-Doz. Dr.scient.med. Dr.med.dent Barbara Kirnbauer

Graz, am 24.07.2023

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz am 24.07.2023

Torbauer Janine e.h.

Danksagungen

Ein herzliches Dankeschön gilt meinen Betreuern Prof. Payer und Priv. Doz. Kirnbauer, die mir bei Fragen immer sofort zur Verfügung gestanden sind und die Korrekturen dieser Diplomarbeit in kürzester Zeit durchgeführt haben.

Ein riesengroßes Dankeschön gilt auch Dr. Rainer Peer, der mir die Patientendaten für diese Diplomarbeit zur Verfügung gestellt hat und mir den Weg zu diesem Beruf geebnet hat.

Mein allergrößter Dank gilt meinem Lebensgefährten Michael, der immer unterstützend an meiner Seite steht, mich stets motiviert und immer ein offenes Ohr hat. Ohne dich hätte ich das nicht geschafft.

Vielen Dank von ganzem Herzen

Zusammenfassung

Einleitung:

Nach Verlust der Oberkiefer-Seitenzähne kommt es in der Regel zu einer fortschreitenden, physiologischen Ausdehnung des Sinus maxillaris sowie zusätzlich zu einer Alveolarfortsatzatrophie.

Die horizontale und/oder vertikale Alveolarkammatrophie stellen die häufigste anatomische Veränderung im Oberkiefer, und somit eine Kontraindikation einer Implantatversorgung mittels Standardimplantat dar.

Ziel dieser Arbeit ist es einen Vergleich des vertikalen augmentierten Knochens zwischen den Methoden des lateralen Sinuslift und des krestalen Sinuslift nach 5 bis 10 Jahren darzulegen. Die Ergebnisse können folglich bei zukünftigen Entscheidungen für die Methodenwahl eine Hilfestellung bieten.

Material und Methode:

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Datenanalyse. Es wurden die DVT – Datensätze jener Patientinnen und Patienten analysiert, die einen lateralen bzw. krestalen Sinuslift erhielten, und eine DVT – Aufnahme prä.- sowie 5 – 10 Jahre post. Sinuslift aufweisen konnten. Die Operationen und DVT – Aufnahmen wurden in der niedergelassenen Ordination Dr. Rainer Peer durchgeführt und zur Vermessung zur Verfügung gestellt. Als Referenzlänge wurde die Implantatlänge von Implantatschulter zum Apex verwendet. Die radiologischen Daten wurden mithilfe einer deskriptiven Statistik analysiert und ausgewertet.

Ergebnisse:

Die Auswertung umfasste 15 Patientinnen und Patienten im Alter von 40 bis 76 Jahren, die 21 Implantate in den Regionen 14 - 17 sowie 24 - 27 des FDI – Schemas erhielten. Die Hauptzielgröße des augmentierten Knochens ergab beim lateralen Sinuslift im Durchschnitt 7,24 mm (+/- 1,33), beim krestalen Sinuslift 5,74 mm (+/- 1,96). Der apikale Knochen über dem Implantat zeigte bei der lateralen Methode einen deutlicheren Knochenüberschuss (0,6 mm im Mittel) als bei der krestalen Methode (0,32 mm im Mittel).

Diskussion:

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen aus der Literatur. Auch hier wird bei der lateralen Methode von einer größeren augmentierten Knochenhöhe berichtet. Die Augmentation mit xenogenen Knochenersatzmaterialien liefert ein in der Literatur bestätigtes Ergebnis.

Konklusion:

Bei Durchführung des lateralen Sinuslift ist der augmentierte Knochen höher als bei der krestalen Methode. Da aber bei den post-operativen Messungen apikal des Implantates Knochen vorhanden ist, kann mit beiden Methoden ein vorhersagbares Ergebnis erzielt werden.

Abstract

Introduction:

After loss of maxillary posterior teeth, there is usually a progressive, physiological expansion of the maxillary sinus and, in addition, alveolar ridge atrophy.

Horizontal and/or vertical alveolar ridge atrophy are the most common anatomical changes in the maxilla, and therefore a contraindication to implant restoration using a standard implant.

The aim of this work is to present a comparison of the vertical augmented bone between the lateral sinus lift and crestal sinus lift methods after 5 to 10 years. Consequently, the results may help guide future decisions for method selection.

Material and Method:

This study was a retrospective data analysis. The DVT data sets of patients who underwent a lateral or crestal sinus lift and had a DVT image taken before and 5 to 10 years after the sinus lift were analyzed. The operations and DVT scans were performed in the practice of Dr. Rainer Peer and made available for measurement. The implant length from implant shoulder to apex was used as the reference length. The radiological data are analyzed and evaluated using descriptive statistics.

Results:

The evaluation included 15 patients aged 40 to 76 years who received 21 implants in regions 14 - 17 and 24 - 27 of the FDI scheme. The main target size of the augmented bone averaged 7.24 mm (+/- 1.33) for the lateral sinus lift and 5.74 mm (+/- 1.96) for the crestal sinus lift. The apical bone over the implant showed more significant excess bone with the lateral method (0.6 mm mean) than with the crestal method (0.32 mm mean).

Discussion:

The results are consistent with those found in the literature. Again, greater augmented bone height is reported with the lateral method. Augmentation with xenogeneic bone substitutes provides a result confirmed in the literature.

Conclusion:

When performing the lateral sinus lift, the augmented bone is higher than with the crestal method. However, since bone is present apically of the implant in the post-operative measurements, a predictable result can be achieved with both methods.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärungen	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1.0 Einleitung	4
2.0 Knochenatrophie	6
2.1 Entwicklung der Kieferhöhle	6
2.2 Klassifikation der Knochenatrophie	7
3.0 Sinusbodenaugmentation	8
3.1 Historie des Sinuslift	9
3.2 Techniken des Sinuslift	11
3.3 Wahl des operativen Vorgangs	12
3.4 Lateraler Sinuslift	14
3.5 Krestaler Sinuslift	16
3.6 Vor- und Nachteile der lateralen und krestalen Methode	18
3.7 Komplikationen	19
4.0 Knochenaufbau	21
4.1 Biologische Grundlagen	21
4.2 Wundheilung und Knochenregeneration	21
4.3 Knochenersatzmaterial	22
4.3.1 Materialauswahl für die Sinusaugmentation	24
4.4 Biologisierung von Knochenersatzmaterial	25
4.4.1 PRF	26
4.5 Membranen	27
5.0 Implantation	28
6.0 Präoperative Diagnostik und Kontraindikationen	29
6.1 Diagnostik der Kieferhöhle	30
6.2 DVT	32
7.0 Erfolgsrate	33
8.0 Material und Methode	34
8.1 Studienziel	34
8.2 Studiendesign	34
8.3 Haupt und Nebenzielgrößen	34
8.4 Auswahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer	35
8.4.1 Einschlusskriterien	35
8.4.2 Ausschlusskriterien	35
8.5 Studienablauf	36
8.5.1 Datenauswertung der DVT-Datensätze	36
8.5.2 Klassifikation der Kieferhöhle	36
8.6 Vermessungen der DVT – Datensätze	38
8.7 Verarbeitung der Daten und Auswertung	40

9.0 Studienergebnisse	41
9.1 Ergebnisse der Hauptzielgröße Knochenhöhe	42
9.2 Nebenzielgrößen	45
9.2.1 Geschlechterverteilung und Alter	45
9.2.2 Allgemeinmedizinische Risikofaktoren, Rauchgewohnheiten	45
9.3 Radiologische Nebenzielparameter	46
9.3.1 Anatomie der Kieferhöhle	46
9.3.2 Kieferhöhlenschleimhaut	49
9.0 Diskussion	50
9.1. Limitationen der Studie	55
10.0 Schlussfolgerung	56
Literaturverzeichnis	57

Abkürzungen und deren Erklärungen

ASA	American Society of Anesthesiologists
BAOSFE	Bone – added Osteotome Sinus Floor Elevation
BMP	Bone Morphogenetic Proteins
CBCT	Cone - beam computed tomography
CT	Computer Tomographie
DFDB	decalcified freezedried bone
DVT	Digitale Volumens Tomographie
EAO	European Association for Osseointegration
FDI	Federation Dentaire Internationale
GBR	Guided bone regeneration
HNO	Hals – Nasen – Ohren
IGF – 1	Insulin – like growth factor 1
MRONJ	Medication related osteonecrosis of the jaw
MSA	Maxillary Sinus Augmentation
OSFE	Osteotome Sinus Floor Elevation
PDGF	platelet derived growth factor
PRF	Platelet rich Fibrin
PRP	Platelet rich Plasma
TGF-β1	transforming growth factor β1
VEGF	vascular endothelial growth factor

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Resorptionsklassen Oberkiefer Seitenzahnbereich (Davó, de Val, 2021).....	7
Abbildung 2: Richtlinien zur Auswahl der Operationstechnik, ITI Treatment Guide Vol. 5	13
Abbildung 3: lateraler Sinuslift, Vorgehensweise (Karthik Sivaraman, 2021).....	15
Abbildung 4: krestaler Sinuslift, Vorgehensweise (Karthik Sivaraman, 2021).....	17
Abbildung 5: Einteilung von Biomaterialien (Schwenzer, Ehrenfeld, 2019)	22
Abbildung 6: Knochenersatzmaterialien, humaner Herkunft	23
Abbildung 7: Knochenersatzmaterialien, nicht humaner Herkunft	24
Abbildung 8: Kieferhöhlen - Typen A-D	37
Abbildung 9: Kieferhöhlensubtypen der Klasse E.....	37
Abbildung 10: Screenshot Vermessung der Datensätze; Übersicht der Schnittbilder	38
Abbildung 11: Screenshot Vermessung der Datensätze; koronaler Schnitt prä-operativ....	39
Abbildung 12: Screenshot Vermessung der Datensätze; sagittaler Schnitt post-operativ...	39
Abbildung 13: Screenshot Vermessung der Datensätze; koronaler Schnitt postoperativ ...	40
Abbildung 14: Vergleich Operationspositionen	41
Abbildung 15: Vergleich lateraler Sinuslift prä- und postoperativ.....	42
Abbildung 16: Vergleich krestaler Sinuslift, prä- und postoperativ	43
Abbildung 17: Diagramm Mittelwert Überdeckung lateraler und krestaler Sinuslift.....	44
Abbildung 18: Diagramm Mittelwert des aufgebauten Knochens lateraler und krestaler Sinuslift	44
Abbildung 19: Geschlechterverteilung.....	45
Abbildung 20: anatomische Gegebenheiten lateraler Sinuslift.....	46
Abbildung 21: anatomische Gegebenheiten krestaler Sinuslift	47
Abbildung 22: Knochenaufbau im Zusammenhang mit der Kieferhöhlen - Anatomie, lateraler Sinuslift	48
Abbildung 23: Knochenaufbau im Zusammenhang mit der Kieferhöhlen - Anatomie, krestaler Sinuslift	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: präoperative Diagnostik, Risikofaktoren (Schwenzer & Ehrenfeld, 2019).....	30
Tabelle 2: HNO – Kontraindikationen, (Testori et al., 2019).....	31
Tabelle 3: Kieferhöhlenschleimhaut.....	49

1.0 Einleitung

Nach Verlust der Oberkiefer-Seitenzähne kommt es häufig zu einer fortschreitenden, physiologischen Ausdehnung der Sinus maxillaris sowie einer zusätzlichen Alveolarfortsatzatrophie.

Die horizontale und/oder vertikale Alveolarkammatrophy stellen die häufigste anatomische Veränderung im Oberkiefer, und somit eine Kontraindikation einer Implantatversorgung dar (Isaksson et al., 1993). Um diese Situation dennoch mittels Implantate versorgen zu können, gibt es verschiedene Möglichkeiten und Techniken. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von kurzen Implantaten, jedoch müssen hierbei die biomechanischen Kriterien berücksichtigt werden, damit sich kein ungünstiges Implantat-Kronen-Verhältnis ergibt (Dau, Kämmerer, 2017). Werden Implantate in Knochen mit verminderter Höhe eingebracht weisen sie bei ausreichender Restknochenhöhe (> 4-6 mm) eine gute primäre Stabilität auf. Die Verankerung bleibt jedoch begrenzt und im Laufe der Zeit kann es durch Verlust des krestalen Knochens zu einer Abnahme der Implantatstabilität kommen (Testori et al., 2019). Die Erweiterung der Kieferhöhlen (MSA) durch Anheben der Schneider'schen Membran hat sich in der Implantologie zu einer etablierten Technik entwickelt (Pjetursson et al., 2008). Mit dieser Methode lassen sich ausreichend lange Implantate einbringen, um eine adäquate und langzeitstabile Verankerung zu erzielen und eine Insertion des Implantates in den Sinus Maxillaris zu vermeiden. Dies könnte zu einer bakteriellen Infektion und zu pathologischen Veränderungen führen (An et al., 2017). Beschrieben wurde sie erstmals vor mehr als 50 Jahren von Tatum (Tatum 1968) und Boyne (Boyne 1962; Block 1997), wobei man die Technik entweder auf die ursprüngliche Weise durch einen lateralen Zugang der Kieferhöhlenwand wählen kann, (Duan et al., 2017) oder alternativ transkrestal durch den Implantatstollen als potenziell weniger invasives Verfahren (Rammelsberg et al., 2020). Beim lateralen Sinuslift wird die laterale Knochenwand des Sinus maxillaris mittels Osteotomie freigelegt. Unter Sicht wird diese mit speziellen Instrumenten vorsichtig angehoben. Anschließend wird der nun freigewordene Raum durch Einbringen von Eigenknochen bzw. Knochenersatzmaterial aufgefüllt (Preusse et al., 2012). Die Insertion des Implantates erfolgt je nach Restknochenhöhe gleichzeitig oder in einem zweiten operativen Eingriff. Beim krestalen Sinuslift wird der Sinusboden über den Bohrstollen mittels verschiedener Techniken angehoben. Anschließend wird auch hier der Eigenknochen bzw. das Knochenersatzmaterial in den soeben freigewordenen Hohlraum eingebracht. Die Insertion des Implantates erfolgt bei dieser Methode in einer Operation (Bruschi et al., 1998).

Um die richtige Technik für die jeweils vorhandene klinische Situation anwenden zu können, müssen noch verschiedene Parameter mitbedacht werden. Darunter fallen die Höhe des Restknochens bis zum Sinus maxillaris, die parodontalen Gegebenheiten, eventuell vorhandene Underwood Septen, etwaige Vorerkrankungen der Sinus maxillaris sowie Allgemeinerkrankungen und Medikation der Patientin und des Patienten.

MSA kann als vorhersehbare und sichere Methode zur quantitativen Knochenerhöhung im zahnlosen Oberkiefer-Seitenzahnbereich (Marin et al., 2019) (Duan et al., 2017) (Danesh-Sani, Engebretson & Janal, 2017) angesehen werden, was zu einer erfolgreichen Primärstabilität des Implantats und vorhersehbarer Heilungs-, sowie Belastungsfähigkeit führt (Al-Moraissi et al., 2019). Eine erst kürzlich durchgeführte Studie beschreibt die Implantat-Überlebensrate in Kombination mit MSA bei 98% (Starch-Jensen et al., 2018).

2.0 Knochenatrophie

Nach Verlust bzw. bei Fehlen eines Zahnes resorbiert sich der Alveolarknochen aufgrund des fehlenden mechanischen Reizes. Um eine dauerhaft stabile Versorgung mittels Implantate gewährleisten zu können, muss der Kieferknochen bestimmte Voraussetzungen erfüllen: Höhe und Breite des Restknochens, keratinisierte Gingiva und ausreichende Tiefe des Vestibulums (Cawood, Howell, 1988). Durch die enge Lagebeziehung des Sinus maxillaris und der Prämolaren sowie Molaren des 1. und 2. Quadranten kommt es nach Verlust der Zähne zu einem zusätzlichen Knochenverlust nach kaudal (unten), welcher durch die Pneumatisierung der Kieferhöhlen verstärkt wird. Da in vielen Fällen die Restknochenhöhe hier deshalb nicht mehr ausreichend ist, um Implantate setzen zu können, benötigt man die Hilfe der chirurgischen Technik der Sinusbodenaugmentation (Pardal-Peláez, Córdoba-Llorente & Belarra-Arenas, 2020). Zusätzlich zum vertikalen Knochendefekt kann auch ein horizontaler Defekt die Notwendigkeit einer Augmentation erfordern, da die vorhandene Restknochendicke für die üblichen Implantatdurchmesser nicht ausreichend ist (Chiapasco, Rossi, 2006).

2.1 Entwicklung der Kieferhöhle

Im Laufe der Entwicklung bilden sich vier paarige Nebenhöhlen: Sinus frontalis, sinus ethmoidalis, sinus sphenoidalis, sinus maxillaris. Die Entstehung des Sinus maxillaris beginnt ab der 10. Entwicklungswoche (Libersa, 1981). Beim Neugeborenen dehnen sie sich während der ersten 12 Lebensmonate rasch aus, bis zum Ende des 12. Lebensmonats reichen sie in der Regel lateral bis zum N. infraorbitalis, etwa im Alter von 12 - 14 Jahren erreicht sie ihre adulte Größe (Abubaker, 1999). Im Erwachsenenalter entspricht der Sinus maxillaris einer mit Luftraum gefüllten, nach lateral wachsenden 4-seitigen Pyramide mit einer durchschnittlichen Höhe von 3,75 cm, einer Tiefe von 2,5 cm und einer Breite von 3 cm (Schaeffer, 1910). Die mediale Wand grenzt an die Nasenhöhle, die hintere entspricht dem Tuber maxillae, an der mesio-vestibulären Wand befindet sich die Fossa canina. Das Dach des Sinus maxillaris bildet den Orbitaboden und die untere Wand, welche mit dem Alveolarfortsatz benachbart ist, entspricht dem Sinusboden (McGowan, Baxter & James, 1993). Die Ausdehnung nimmt mit dem Alter zu und gewinnt zwischen dem 15 - 20. Lebensjahr eine zahnärztlich-chirurgische Bedeutung. Nach mesial kann sie sich bis in den Bereich der Wurzeln des Eckzahnes erstrecken, im Bereich der Wurzeln der Molaren befindet sich der tiefste Punkt der Kieferhöhle (Woo, Le, 2004).

2.2 Klassifikation der Knochenatrophie

Cawood und Howell haben 1988 (Cawood, Howell, 1988) eine Klassifikation der Knochenatrophie erstellt, die sich bis heute durchgesetzt hat. Diese sogenannten Resorptionsklassen werden als Weiterentwicklung der Klassifikation von Atwood angesehen und unterteilen den Querschnitt des Kiefers in sechs Kategorien (Abbildung 1):

1. bezahnter Kieferkamm
2. Kieferkamm unmittelbar nach Zahnverlust
3. gut abgerundeter Kieferkamm mit adäquater Höhe und Breite
4. scharfer Kieferkamm mit adäquater Höhe und inadäquater Breite
5. flacher Kieferkamm mit inadäquater Höhe und Breite
6. hochatropher Kieferkamm mit teils negativen Kieferkämmen

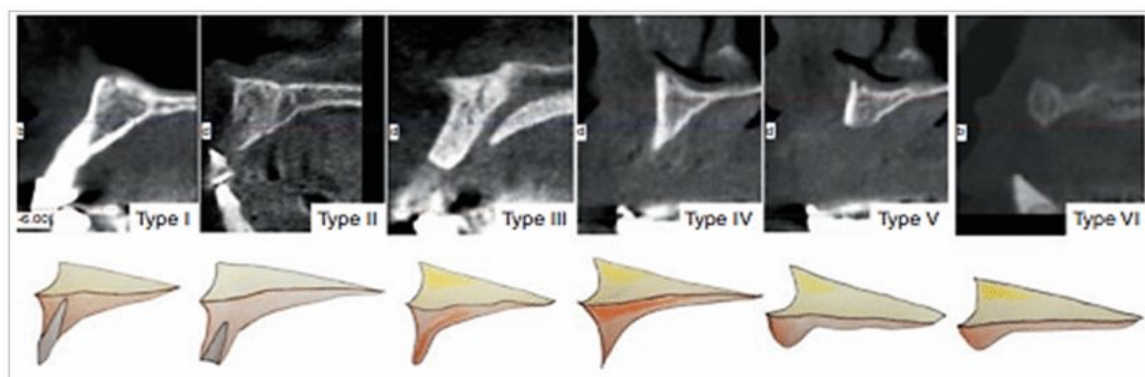


Abbildung 1: Resorptionsklassen Oberkiefer Seitenzahnbereich (Davó, de Val, 2021)

Die vertikale und/oder horizontale Alveolarkammatrophie sind die häufigsten anatomischen Veränderungen im Oberkiefer Seitenzahnbereich nach Verlust der Dentition. Bei der vertikalen Alveolarkammatrophie im Oberkiefer Seitenzahnbereich senkt sich der Sinusboden nach kranial, während der Alveolarkamm in entgegengesetzter Richtung resorbiert wird. Es korrelieren bei diesem Prozess die Dauer der Zahnlosigkeit mit dem Ausmaß der Alveolarresorption und der Pneumatisierung im Sinus Maxillaris.

Hier entsteht ein größerer vertikaler Knochenabbau als horizontaler, was vermutlich die Folge des Zusammenspiels von alveolärer Resorption und Sinuspneumatisierung zurückzuführen ist. Diese Pneumatisierung scheint den Knochenabbau stärker zu beeinflussen. Daher limitiert meist nicht die Breite des vorhandenen Kieferkammes eine Implantation, sondern die Höhe (Testori et al., 2019).

3.0 Sinusbodenaugmentation

Liegen im Oberkiefer – Seitenzahnbereich ein stark atrophiertes Alveolarfortsatz und/oder eine stark pneumatische Sinus Maxillaris vor, wird eine Implantatversorgung erschwert. Eine Möglichkeit wäre die Verwendung von kürzeren Implantaten, bei der aber bestimmte Voraussetzungen beachtet und erfüllt werden müssen, um einen Langzeiterfolg zu gewährleisten. Bei einem ungünstigen Implantat/Kronen Verhältnis kann z. B. eine nicht axiale Belastung der prothetischen Versorgung und stark okklusale Kräfte zu einem Verlust des Implantates führen (Blanes, 2009). Ist es notwendig, Implantate mit einer Länge zwischen 8 und 13 mm zu setzen, sind präprothetische Eingriffe wie eine Sinusbodenaugmentation nötig, um optimale Voraussetzungen für die Implantation zu schaffen. Ziel der Sinusbodenaugmentation ist es, eine vorhersagbare Bildung von vitalem Knochen unter dem angehobenen Sinusboden zu erreichen. Dies ermöglicht eine Integration von Implantaten und deren Langzeitüberleben unter funktioneller Belastung im neu gebildeten Knochen (Testori et al., 2019).

Die laterale als auch die krestale Methode zur Anhebung der Schneider'schen Membran zielen darauf ab, eine Knochenrekonstruktion zu erreichen, die eine Implantat Insertion ermöglicht (Testori, Weinstein et al., 2019). In den 1980er Jahren wurde ein Operationsverfahren für den zahnlosen und stark atrophierten Oberkiefer Seitenzahnbereich publiziert. Hierbei wurde die Schneider'sche Membran vom Boden des Sinus gelöst, autologer Knochen in dem neu entstanden Raum eingebracht und anschließend ein Implantat gesetzt (Boyne, Philip J., 1980). Noch heute ist diese Methode die Grundlage für die Entwicklung weiterer Verfahren der Sinusbodenaugmentationstechnik. Seit dem Jahr 1992 werden die Operationen auf die darauffolgenden prothetischen Planungen abgestimmt. Dadurch wurden neue Techniken wie GBR (gesteuerte Knochenregeneration), vertikale Alveolarkammaugmentation sowie modifizierte Sinusbodenaugmentationen in die Behandlung aufgenommen.

3.1 Historie des Sinuslift

Beschrieben und dokumentiert wurde die Technik zum Knochenaufbau im Sinus Maxillaris erstmals in den frühen 1960er Jahren von Philip J. Boyne. Dieser führte eine „sekundäre Alveolarkammplastik“ durch, um einen vergrößerten Abstand der Zahnbögen zu erzielen. All diese Patientinnen und Patienten waren Totalprothesenträger und hatten eine ausgeprägten Tuber Maxillae, die mit dem Gegenkiefer interferierte. Er verstärkte mittels eines Beckenkammtransplantates den Boden der Kieferhöhle, und führte nach 3 Monaten eine, durch den Aufbau für die Kieferhöhle gefahrlose Osteoplastik durch. Eine Versorgung mittels einer Totalprothese wäre bei diesen Patientinnen und Patienten ohne die Operation nicht möglich gewesen (Boyne, P. J., 1965).

1980 veröffentlichten Boyne und James die erste Arbeit, die die Behandlung von Patientinnen und Patienten mit enossalen Implantaten und einer Sinusbodenaugmentation dokumentierte. Mittels eines Knochenfensters erfolgte der Zugang zur Kieferhöhle. Dieses Fenster wurde vorsichtig vorgeschoben und in die Höhle rotiert, dadurch kam es zur Ablösung der Schneider'schen Membran. Danach wurde das Knochentransplantat, welches aus autologen Knochen bestand, in den frei gewordenen Raum eingebracht und wieder verschlossen. Monate nach der ersten Operation erfolgte eine zweite, bei der Klingenimplantate gesetzt wurden (Boyne, Philip J., 1980). Gleichzeitig arbeitete Tatum an der Entwicklung besserer bzw. neuer operativer Verfahren. Ihm kommt eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Sinusbodenaugmentation mittels autologem Beckenkamm zur Implantatvorbereitung zu. Er war der erste Autor, der eine simultane Sinusbodenaugmentation mit gleichzeitiger Implantation beschrieb (Tatum Jr, 1986). Wood und Moore veröffentlichten 1988 eine Variante der Sinusbodenaugmentation unter der Verwendung von autogenen Knochen, der aus einer intraoralen Stelle stammte, und zur Augmentationsstelle transplantiert wurde (Wood, Moore, 1988).

Die Technik des kristallinen Sinuslift wurde im Jahr 1986 von Tatum als weniger invasives Vorgehen vorgeschlagen, Summers perfektionierte dieses im Jahr 1994. Er beschrieb eine Osteotom – Sinusbodenaugmentation (Osteotome Sinus Floor Elevation, OSFE) bei welcher der Kieferhöhlenboden durch den Knochen, der bei der Präparation der Osteotomiestelle gewonnen wurde, abgehoben wurde. Bei seiner zweiten Methode, der Osteotom Sinusbodenelevation mit Knochentransplantat (Bone – added Osteotome Sinus Floor Elevation, BAOSFE) wird Mithilfe von Osteotomen ein Knochentransplantat in die Osteotomie vorgetrieben. Diese beiden Verfahren gelten ab einer Restknochenhöhe von 5 - 6 mm als sehr zuverlässig (Summers, Robert B., 1994).

Bei einer Restknochenhöhe, die eine ausreichende Primärstabilität des Implantates gewährleistet, kann die krestale Sinusaugmentation gleichzeitig mit der Implantation erfolgen. Andernfalls wird sie zweizeitig (Future Site Development) durchgeführt. Hierbei wird zuerst ausreichend Knochen aufgebaut und die Implantate zu einem späteren Zeitpunkt zu setzen (Summers, R. B., 1995). Mittlerweile gibt es zahlreiche Modifikationen dieser von Summers beschriebenen Techniken.

3.2 Techniken des Sinuslift

Im Wesentlichen lassen sich 2 Zugangsmöglichkeiten zur Kieferhöhle voneinander unterscheiden: der laterale Sinuslift über einen seitlichen Zugang der Knochenwand der Kieferhöhle und der krestale Sinuslift über einen Bohrstollen im Alveolarkamm (Yamamichi, Itose & Wang, 2019).

Der Zeitpunkt der Implantation kann gleichzeitig mit der Sinusbodenaugmentation (einzeitig) erfolgen, oder in einem zweiten operativen Eingriff (zweizeitig). Ist eine Restknochenhöhe von 4 – 6 mm vorhanden, gewährleistet dieser genügend Primärstabilität, um eine simultane Sinusbodenaugmentation mit Implantation durchzuführen (einzeitig). Ein präimplantologischer Sinuslift (zweizeitig) ist bei einer geringeren Restknochenhöhe (<4 mm) und einer ausgedehnten Alveolarfortsatzatrophie nötig. Hier lassen sich die Implantate nicht primär stabil inserieren, es muss erst der Umbau des eingebrachten Knochens abgewartet werden. Diese Zeit beträgt, je nach verwendetem Material, 3 - 6 Monate (Gutwald, Gellrich & Schmelzeisen, 2018). Früher wurde der frei gewordene Raum bei einer Sinusbodenelevation mit Knochen aus der Mundhöhle bzw. aus extraoralen Entnahmestellen aufgefüllt. Dies bringt aber Nachteile mit sich, unter anderem eine weitere Operationsstelle, bei welcher Komplikationen entstehen könnten (Younger, Chapman, 1989). Deshalb werden auch Knochenersatzmaterialien, die unterschiedlichen Eigenschaften aufweisen, eingesetzt. Durch die Anwendung dieser Materialien hat sich die Sandwich-Technik als zuverlässiges Verfahren in der Sinusbodenaugmentation entwickelt. Hierbei wird das Augmentat, welches aus autologem und verschiedenen körperfremden Knochenersatzmaterialien besteht, schichtweise in den Sinusboden eingebracht (Yamamichi, Itose & Wang, 2019).

3.3 Wahl des operativen Vorgangs

Die Wahl der Sinusbodenaugmentations-Technik wird bereits bei der präoperativen Untersuchung getroffen, bei der auch die Ziele der prothetischen Versorgung festgelegt werden (Testori et al., 2019).

Vor der Durchführung des operativen Eingriffes müssen Entscheidungen hinsichtlich der Technik, des Zeitpunktes der Implantation und dem Aufbaumaterial, welches zur Anwendung kommen soll, getroffen werden. Die Wahl des operativen Vorgangs ist abhängig von der Ausgangssituation und somit bei jeder Patientin und jedem Patienten als individuell anzusehen.

Vercellotti hat 2001 zur besseren Orientierung eine Klassifikation zur Wahl des operativen Verfahrens sowie der Anzahl der operativen Eingriffe erstellt. Diese werden dabei in 4 Typen unterschieden (Vercellotti, T., Russo & Gianotti, 2000):

- Typ A: Die Restknochenhöhe beträgt mehr als 70% der idealen Implantatlänge und das Kronen – Implantat Verhältnis beträgt 1:1. Hier kann ein einzeitiges Verfahren stattfinden, sofern kein Klasse 4 Knochen vorliegt. Als Operationsverfahren sind der krestale sowie der laterale Zugang möglich.
- Typ B: Die Restknochenhöhe beträgt ca. 30-50% der idealen Implantatlänge. Wie bei Typ A kann ein einzeitiges Verfahren durchgeführt werden, jedoch sollte dies über ein laterales Fenster erfolgen.
- Typ C: Die Restknochenhöhe beträgt 30-50% bei einer Knochenqualität 4. Hier sollte ein zweizeitiges Verfahren stattfinden, da die Primärstabilität nicht gegeben ist. Die Implantation erfolgt ca. 6 - 8 Monate post. Augmentation. Es kommt nur der laterale Zugang infrage, da eine große Menge an Knochen transplantiert werden muss.
- Typ D: Die Restknochenhöhe beträgt weniger als 30%. Hier ist ein zweizeitiges Vorgehen erforderlich und die Implantation erfolgt ca. 6-8 Monate nach Augmentation. Ebenfalls kommt hier nur das laterale Vorgehen infrage.

Ebenso dient die hier angefügte Abbildung bei der Behandlung als Richtlinie (Abbildung 2):

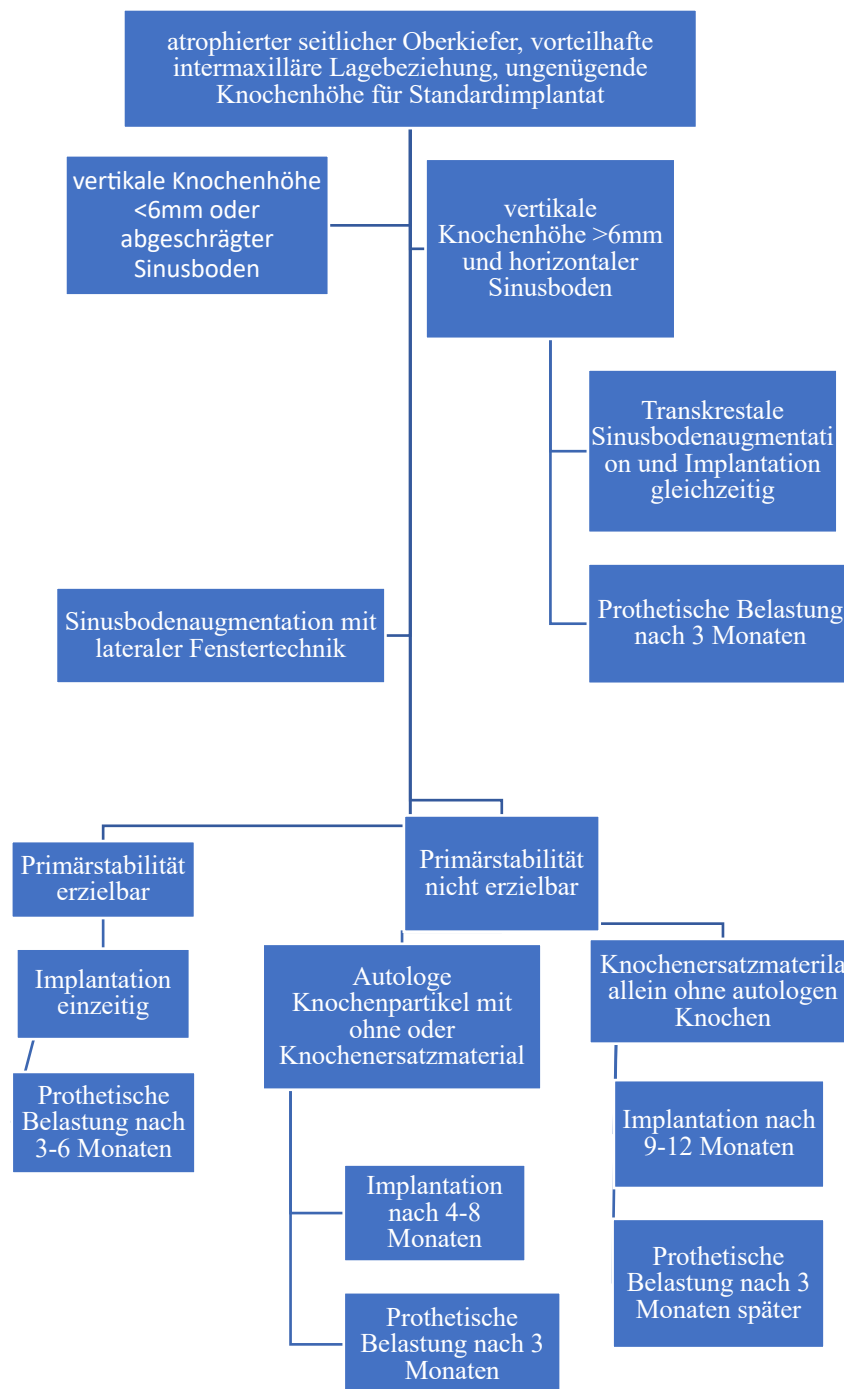


Abbildung 2: Richtlinien zur Auswahl der Operationstechnik, ITI Treatment Guide Vol. 5

3.4 Lateraler Sinuslift

Der laterale Sinuslift oder auch laterale Fenstertechnik genannt, kann als freie oder gestielte Knochendeckeltechnik erfolgen. Bei der gestielten Technik wird der mobilisierte Knochendeckel mit der Schneider'schen Membran nach innen geklappt, während bei der freien Knochendeckel vollständig von der Membran gelöst und nach anschließender erfolgter Augmentation wieder an seine ursprüngliche Stelle reponiert wird (Yamamichi, Itose & Wang, 2019).

Vor Beginn der Operation bzw. der Inzision des Zugangslappens müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden:

- Lage des Sinusbodens
- Mesial-distale Ausdehnung des Sinus
- Position und Menge der keratinisierten Gingiva
- Restbezahnung
- Ideale Position der Antrostomie

Bei der Alveolarkamminzision wird ein Mukoperiostlappen gebildet, dieser kann nach palatinal oder krestal versetzt sein. Die Versetzung nach palatinal wird empfohlen, wenn sich ein Muskelansatz am Kieferkamm befindet, man den Anteil der keratinisierten Gingiva erhöhen möchte oder der Abstand Mukogingivalgrenze und Kieferkammitte weniger als 2 – 3 mm beträgt. Bei palatinal versetzter Schnittführung muss selbstverständlich auf die Gefäßversorgung geachtet werden (Testori et al., 2019). Die Verlängerung des Kieferkammschnittes sollte über den Bereich der Osteotomie hinausgehen, immer unter Berücksichtigung der Erhaltung der attached Gingiva. Ein vertikaler Entlastungsschnitt im Bereich der Fossa Canina hilft dabei den Knochen ausreichend freizulegen sowie einen spannungsfreien Weichgewebsverschluss zu ermöglichen. Beim Abheben des Mukoperiostlappens sollte das Periost möglichst schonend behandelt werden, um die Blutversorgung im Bereich der Implantationsstelle erhalten zu können (Garg, 1999). Nach Freilegung der lateralen Wand kann man den kortikalen Knochen gut vom spongiosen Knochen krestal und anterior unterscheiden. Manchmal erkennt man in diesem Bereich auch die A. alveolaris superior posterior in ihrem Verlauf posterior nach anterior (Testori et al., 2019).

Bei der darauffolgenden Osteotomie wird mit einem feinen Rosenbohrer an der lateralen Kieferhöhlenwand ein Knochenfenster skizziert. Die Größe dieses Fensters ist abhängig von der Zahl der Zähne, welche durch Implantate ersetzt werden sollten. Durch das Setzen von kleinen Löchern entlang der skizzierten Linie wird eine Verletzung der Schneider'schen Membran vermieden. Bei der Osteotomie sollte man nur im Knochen arbeiten, da es sonst

zu einer Perforation der direkt darunterliegenden Membran kommen könnte. Mit einer größeren Rose, bzw. Piezochirurgischen Instrumenten werden diese Löcher anschließend miteinander verbunden und das entstandene Knochenfenster kann abgehoben und zum späteren Abdecken der Augmentation aufgehoben werden. Eine andere Möglichkeit ist, den Knochendeckel mitsamt der Membran vorsichtig nach innen zu klappen, sodass dieser Deckel nun als neues Dach der Augmentation dient. Anschließend wird die Membran mit Elevatoren sehr vorsichtig vom Sinusboden und auch von Vorder- und Mittelwand der Nebenhöhlen abgehoben (Lundgren et al., 2017). Nach dem vollständigen Abheben der Schneider'schen Membran wird das Knochenersatzmaterial in den soeben gewonnenen Hohlraum eingebracht. Wichtig ist dabei, dass das Material nicht zu stark verdichtet wird, um eine Vaskularisierung gewährleisten zu können. Eine Membran wird abschließend auf den mit Ersatzmaterial gefüllten Hohlraum platziert (Testori et al., 2019).

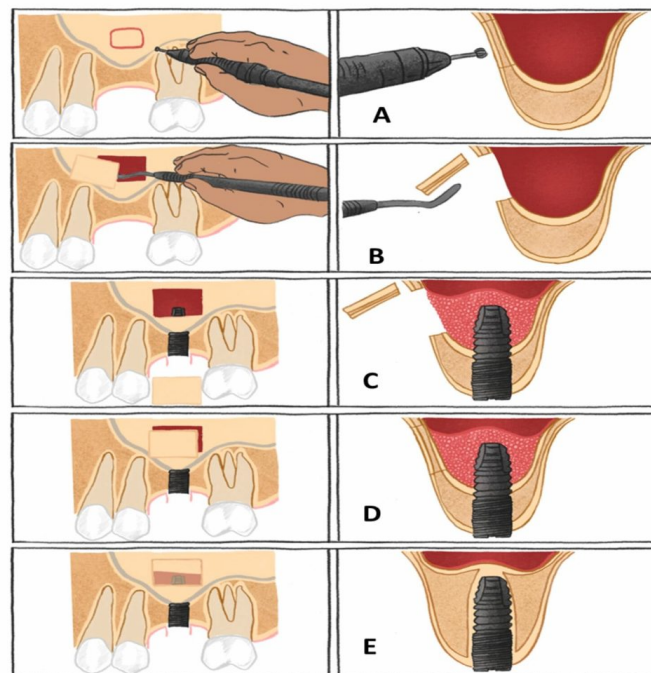


Abbildung 3: lateraler Sinuslift, Vorgehensweise (Karthik Sivaraman, 2021)

Erlaubt die vorhandene Restknochenhöhe eine simultane Implantation, ist die Implantationsstelle vor Einbringen des Knochenersatzmaterials vorzubereiten. Bei gleichzeitigem Setzen des Implantates wird häufig die Methode verwendet, bei der das Knochenfenster durch das gleichzeitige Anheben mit der Membran nach innen geklappt wird und als neues Dach fungiert. Dabei dient das Knochenfenster als Plattform für den apikalen Teil des Implantats. Nach abgeschlossener Implantation bzw. Augmentation wird der Mukoperiostlappen passiv und spannungsfrei geschlossen. Die Einheilzeit der Sinus-Augmentation ist abhängig vom jeweiligen Material, welches eingebracht wurde. Beim

autogenen Knochenersatzmaterial beträgt sie etwa 4 - 6 Monate, synthetische Materialien wie Calciumphosphat bzw. Beta-Tricalciumphosphat werden schneller aufgelöst. Bei xenogene Materialien beträgt die Einheilzeit mindestens 6 Monate (Lundgren et al., 2017).

Als Modifikation des lateralen Sinuslift gilt die Methode mittels piezoelektrischem Verfahren beschrieben. Die als sogenannte Piezosurgery® bezeichnete Technik verwendet ein spezielles chirurgisches Ultraschallgerät mit variabler Modulation, das zur präziseren und sichereren Durchführung von Osteotomien und osteoplastischen Operationen dient. Die Piezosurgery® umfasst fünf operative Schritte: i) den Zugang zur Schneider'schen Membran, ii) die Separation der Membran, iii) die Elevation der Membran, iv) die Gewinnung und Einbringung des Knochentransplantates, sowie v) die Vorbereitung der Implantationsstelle. Der vestibuläre Zugang kann entweder als piezoelektrische Osteotomie des Knochenfensters erfolgen oder als piezoelektrische Osteoplastik des Knochenfensters. Bei zweiterer wird die Knochenwand ausgedünnt und gleichzeitig die Knochenfragmente gesammelt. Nach Elevation der Schneider'schen Membran werden diese in die Kieferhöhle eingebracht (Vercellotti, Tomaso, De Paoli & Nevins, 2001). Durch die Frequenz der Ultraschallmikrovibration, welche für mineralisches Gewebe spezifisch ist, ist eine größtmögliche Schonung der Schneider'schen Membran möglich, die Zuverlässigkeit der Methode liegt mittlerweile bei annähernd 100% (Testori et al., 2019).

3.5 Krestaler Sinuslift

Als Alternative zum lateralen Sinuslift kann im posterioren Oberkiefer der krestale Sinuslift angewendet werden. Erstmals beschrieben wurde diese Technik im Jahr 1986 von Tatum, modifiziert wurde sie 1994 von Summers. Im Unterschied zur lateralen Fenstertechnik wird die Sinusmembran mit verschiedenen Instrumenten bzw. Techniken durch den krestalen Knochen angehoben und die Implantate können aufgrund der vorhandenen Restknochenhöhe (>6 mm) simultan in die vorbereiteten Stellen gesetzt werden (Cannizzaro et al., 2013). Summers beschrieb die Methode erstmals 1994 und verwendete für die Elevation des Sinus Osteotome. Begonnen wird auch bei dieser Technik mit einem Kieferkammschnitt. Ein Mukoperiostlappen wird über die gesamte Länge des Kieferkammes gebildet, um den Alveolarkamm freizulegen. Die erste Osteotomie erfolgt mit einem Trepanbohrer, welcher Richtung Sinusboden geführt wird. Anschließend wird ein Osteotom durch vorsichtiges Hämmern in den Knochen eingebracht, bis zum präoperativ bestimmten Knocheniveau unterhalb der Sinusmembran. Mit Osteotomen in aufsteigender

Größe wird die Osteotomiestelle bis auf die gewünschte Breite erweitert. Bei dieser Art der Technik wird laut Summers die Knochendichte des Oberkiefer-Seitenzahnbereichs durch die Komprimierung verbessert. Anschließend wird Knochenersatzmaterial durch Kondensation mit dem größten verwendeten Osteotom eingebracht. Durch diesen Druck, welcher nun auf die Sinusmembran ausgeübt wird, kann diese auf die gewünschte Höhe angehoben werden. Ist die gewünschte Höhe erreicht, wird das Implantat gesetzt und es erfolgt ein dichter Wundverschluss (Woo, Le, 2004).

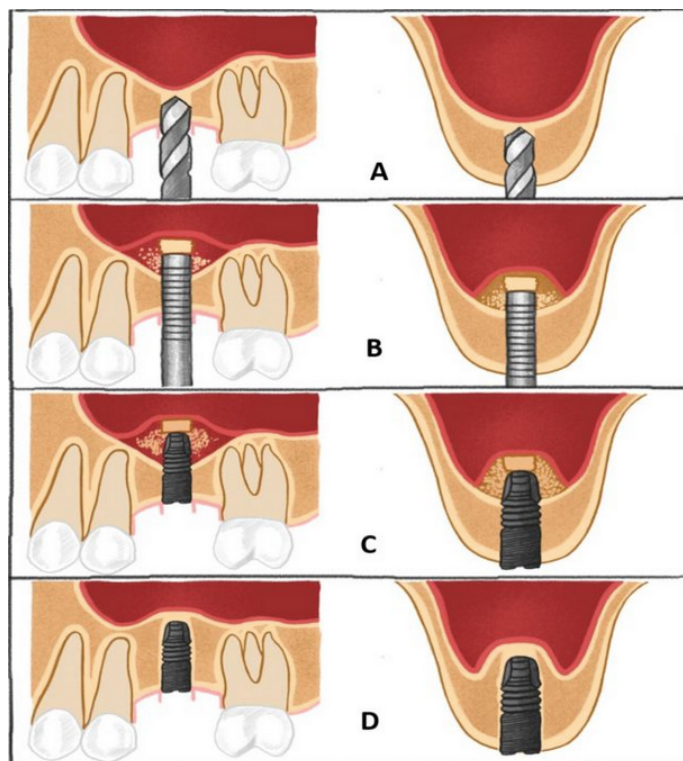


Abbildung 4: kreistaler Sinuslift, Vorgehensweise (Karthik Sivaraman, 2021)

Durch mögliche scharfe Knochenfragmente kann es beim Einbringen des Knochentransplantates zu einer Perforation der Schneider'schen Membran kommen, weshalb Nkenke et al. 2002 empfiehlt in diesem Falle den knöchernen Sinusboden direkt mit der Osteotomspitze zu frakturieren, und nicht mit dem Transplantatmaterial anzuheben, so wie dies von Summers beschrieben wird (Nkenke et al., 2002).

Eine Modifikation der Technik nach Summers wurde von Fugazotto 2001 beschrieben. Dieser wendete die Technik bei PatientInnen an, die eine Extraktion im Oberkiefer Seitenzahn Bereich benötigten. Bei dieser Technik lassen sich die bukkal - palatinalen Knochenverhältnisse und die apikale – koronale Höhe des subantralen Gebietes erhöhen. Direkt nach Extraktion des Zahnes wird mit einem Trepanbohrer ein Knochenzylinder

erzeugt, der mind. 50% der Extraktionsalveole sowie das interradiikuläre Septum miteinbezieht. Diese Bohrung erfolgt bis ca. 1 mm an den Sinusboden. Anschließend wird der entstandene Knochenzylinder und die anhaftende Sinusmembran mit einem kalibrierten Osteotom über vorsichtige Hammerschläge in apikaler Richtung getrieben. Die Strecke muss mindestens der apikal – koronalen Höhe des Knochenzylinders entsprechen. Durch Auffüllen mit deproteinisiertem bovinen Knochenmaterial wird der entstandene Defekt wieder aufgefüllt und mit einer Membran gemäß dem Prinzip der gesteuerten Knochenregeneration bedeckt (Fugazzotto, 2001). Als weitere Variante zur Osteotomie Technik wurde das hydraulische System zur Sinusbodenelevation erstmals von Chen und Cha 2005 beschrieben. Die Aufklappung und Bildung des Mukoperiostlappens erfolgt ident, ebenso wird eine krestale Osteotomie mit speziellen Bohrern durchgeführt, welche die Sinusmembran durch Flüssigkeitsdruck des Bohrinstruments anheben. Anschließend wird auch hier das Knochenersatzmaterial eingebracht, und die Implantate gesetzt (Better et al., 2014).

3.6 Vor- und Nachteile der lateralen und krestalen Methode

Ein Vorteil der lateralen Fenstertechnik ist, dass mögliche Verletzungen der Schneider'schen Membran beim Abheben dieser sofort erkannt und durch eine Abdeckung mit einer Membran verschlossen werden können. Aufgrund der Arbeit unter Sicht kann die Menge an transplantiertem Knochen bzw. Knochenersatzmaterial, das eingebracht wird, genauer bestimmt werden. Wird die Modifikation der lateralen Fenstertechnik mittels Piezochirurgie angewendet, zeigt die Literatur Hinweise darauf, dass diese Methode die Membranperforation reduzieren kann (Jordi et al., 2018).

Nachteil der lateralen Fenstertechnik ist die Bildung eines großen Mukoperiostlappens, der für einen adäquaten Zugang nötig ist und einen Einfluss auf die postoperative Morbidität haben kann. Außerdem entstehen der Patientin und dem Patienten höhere Kosten, mögliche Komplikationen wie eine Schwellung mit Hämatombildung, eine Sinus Infektion oder die Perforation der Schneider'schen Membran (Lumbau et al., 2021).

Die krestale Sinuslift Technik hat im Vergleich zur lateralen Technik folgende Vorteile; Sie ist schonender für die Patientin und den Patienten, da sie eine Restknochenhöhe von >6 mm erfordert und somit eine simultane Implantation möglich ist. Ein zweiter operativer Eingriff ist meist nicht nötig. Es kommt seltener zu einer Ruptur der Sinusmembran und das Knochenersatzmaterial lässt sich besser positionieren (Wimalarathna, 2021).

Die krestale Methode hat ein eingeschränktes Indikationsspektrum, da zur Durchführung verschiedene Voraussetzung erfüllt werden müssen. Der Alveolarkamm muss eine angemessene Breite sowie Höhe (> 6mm) betragen, der Sinusboden sollte anatomisch gesehen horizontal gestaltet sein. Auch Unterwood Septen im Operationsgebiet können als Einschränkung gesehen werden (Scott, 2012). Da das Verfahren blind durchgeführt wird, ist eine Perforation der Schneider'schen Membran visuell nicht zu erkennen. Dies würde dazu führen, dass Knochenersatzmaterial in die Kieferhöhle gelangt und Infektionen im Sinus verursacht (Salgar, 2021).

Bei der Osteotomie-Technik ist es schwierig, eine kontrollierte Fraktur herzustellen, insbesondere wenn sich im Sinus Septen oder andere anatomische Besonderheiten befinden (Cosci, Luccioli, 2000). Die Osteotomie mittels Hammers gemäß Summer, wird von den PatientInnen oft mit einem unangenehmen Empfinden beschrieben (Lumbau et al., 2021). Der Vorteil bei Verwendung eines hydraulischen Systems ist der Verzicht auf die Osteotomie und den damit verbunden Unannehmlichkeiten. Es ist damit auch möglich, die Sinusmembran breiter und höher anzuheben. (Cho et al., 2020)

Der krestale Sinuslift beschränkt sich auf Einzelzahnversorgungen und kleine Restaurationen (Gutwald, Gellrich & Schmelzeisen, 2018).

3.7 Komplikationen

Es können Komplikationen wie die Perforation der Schneider'schen Membran, sinusversorgende Gefäßblutungen, Verlust von Transplantatmaterial durch das Knochenfenster, oder neurologische Verletzungen auftreten. Eine retrospektive Studie von konsekutiv durchgeführten Sinusbodenaugmentationen ergab für die Häufigkeit einer intraoperativen Perforation der Schneider'schen Membran mit 11%, und 2% für das Auftreten einer intraoperativen Blutung. Wird die Operation mit Piezoelektrischen Instrumentarium durchgeführt, ist die Perforationsrate niedriger gelegen (Wallace et al., 2007).

Durch verschiedene anatomische Variationen kann das Abheben der Schneider'schen Membran bei der Sinusbodenaugmantation ein potenzielles Risiko für eine Perforation dieser darstellen. Beim lateralen Sinuslift liegt die Inzidenz der Perforation bei 20% - 44%, beim krestalen beträgt sie 0% - 25% (Katranchi et al., 2008) (Woo, Le, 2004) (Taschieri et al., 2012).

Bisher wurden Klassifikationen der Kieferhöhle in Abhängigkeit von Sinuskonturen erstellt, jedoch wurde keine Korrelation zwischen der Anatomie und der Perforation der Schneider'schen Membran untersucht.

Niu et. al unterteilte in seiner die Kieferhöhle in 5 Kategorien (Niu et al., 2018)

- Schmal zulaufend
- Spitz zulaufend
- Eiförmig
- Quadratisch
- unregelmäßig

2019 untersuchten Marin,et. al den Zusammenhang der Kieferhöhlen – Anatomie und Membrandicke mit dem Auftreten einer Membranperforation. Sie kamen zum Ergebnis, dass die Konturen der Kieferhöhle und die Dicke der Sinusmembran relevante Faktoren für das Auftreten von Membranperforationen sind (Marin et al., 2019). Eine Sinusmembranperforation ist eine intraoperative Komplikation, welche auch postoperative Früh- bzw. Spät komplikationen verursachen kann. Diese Spät komplikationen können den Verlust des Transplantates, eine akute Infektion oder eine chronische Sinusitis sein. Wichtig ist es, das Transplantat, vor allem wenn es scharfe Kanten aufweist, sehr vorsichtig zu platzieren, damit es nicht zu einer unkontrollierten Membranperforation und damit zur Dispersion des Materials in die Kieferhöhle kommt. Dies könnte wiederum zu einer Sinusitis führen (Aimetti et al., 2001). Als Komplikationsmanagement ist es möglich, die Perforationsstelle mit einer Membran abzudecken, welche über die Perforation selbst hinausgeht. Es ist von Vorteil eine Membran mit geringer Resorptionsrate zu verwenden, wie z.B. eine Kollagenmembran (Barbu et al., 2019).

Die Möglichkeit, eine Membranperforation bei einem krestalen Sinuslift zu reparieren, ist im Vergleich zum lateralen Fensterverfahren begrenzt. Eine Perforation der Schneiderschen Membran würde zum Verlust des Transplantatmaterials in die Kieferhöhle und zum Scheitern des Verfahrens führen (Salgar, 2021). Ardekian et al. hat in seiner Studie gezeigt, dass Implantate, die in einem augmentierten Sinus gesetzt wurden, nach 4 Jahren eine Erfolgsrate von 94 % aufweisen. Dabei wurde kein signifikanter Unterschied zwischen einer perforierten und nicht perforierten Membran gefunden (Ardekian et al., 2006).

4.0 Knochenaufbau

4.1 Biologische Grundlagen

Der menschliche Knochen besteht vereinfacht gesehen aus Weichgewebe und Hartgewebe. Die Knochenzellen (Osteklasten, Osteoblasten sowie Osteozyten) sowie das Knochenmark und die versorgenden Blutgefäße werden vom Weichgewebe umfasst. Diese durch den Knochen hindurchziehenden Blutgefäße werden Haversche Kanälchen genannt, sie dienen der Ernährung des kompakten Knochens (Terheyden, 2021).

Die Osteoblasten werden aus Mesenchymzellen gebildet und synthetisieren und sekretieren Osteoid. Dieses wird mineralisiert und die Osteoblasten entwickeln sich zu Osteozyten, welche wiederum über Fortsätze untereinander verbunden sind. Als Knochenmatrix bezeichnet man die Extrazellulärmatrix, welche aus organischen und anorganischen Komponenten besteht. Die organischen werden als Osteoid bezeichnet, die anorganischen bilden Hydroxylapatit-Kristalle (Hartmann, 2009).

4.2 Wundheilung und Knochenregeneration

Zur Beschreibung der Wundheilung kann man diese in 4 Phasen unterteilen. Die erste Phase, die exudative Phase, dauert nur einige Minuten bis Stunden und zeichnet sich in erster Linie durch Blutstillung aus. Die Blutplättchen und die Polymerisation des Fibrins bilden eine Extrazellulärmatrix als Gerüststruktur für Wachstumsfaktoren und einwanderte Zellen. Das entstehende Koagulum verklebt die Wundränder mechanisch und hat eine stabilisierende Funktion durch Gerinnungs- und anderen Proteinen wie z.B. Fibronectin (Larjava, 2012).

Als zweite Phase wird die entzündliche Phase beschrieben. Sie dauert Stunden bis Tage und wird durch Degranulation der Thrombozyten eingeleitet. Durch eine anschließende Durchlässigkeit der Blutgefäße entsteht ein Ödem und Granulozyten haften sich an die Gefäßwände an, um danach in den perivaskulären Raum auszutreten (Diapedese). Hier entsteht durch das zusätzliche Zellvolumen eine klinisch sichtbare Schwellung. Es entsteht ein toxisches Wundmilieu, welches durch freie Sauerstoffradikale der Granulozyten hervorgerufen wird. Diese Granulozyten zerfallen und setzen gewebeauflösende Enzyme aus ihren Lysosomen frei, Pus bildet sich. Die nächste Phase beschreibt die proliferative Phase und dauert Tage bis Wochen. Makrophagen sezernieren Wachstumsfaktoren und induzieren die Bildung von Granulationsgewebe, welches das Koagulum ersetzt. Neben Gefäßen wandern in dieser Phase auch chemotaktisch Fibroblasten ein und beginnen zusammen mit den gespeicherten Wachstumsfaktoren Kollagen zu bilden. Zum Unterschied zu einer Weichgewebswunde sind bei einer Knochenwunde sogenannte Bone

Morphogenetic Proteins (BMP) bei der Heilung beteiligt. Diese sind im Knochen gespeichert und werden bei Knochenverletzungen freigesetzt. Diese BMP differenzieren mesenchymale Stammzellen zu Knochenzellen. Wichtig ist in dieser Phase eine mechanische Ruhe, da sich die entstehenden Osteoblasten nur auf einer festen Grundlage fixieren können. Anschließend kommt es zur Expression knochenspezifischer Matrixproteine (Osteoid), welche von der verletzten Knochenwunde ausgehen. Innerhalb einiger Wochen bildete sich hier, bei ungestörtem Heilungsverlauf, Geflechtknochen. Die letzte Phase, die Remodellierungsphase, dauert Wochen bis Jahre. Vorrangig ist hier der lastabhängige Umbau vom unreifen Geflechtknochen in den ausgereiften lamellären Knochen (Terheyden, 2021).

4.3 Knochenersatzmaterial

Um einen entstandenen Knochendefekt wieder zu korrigieren, bzw. um einen Knochenaufbau bei der Sinusbodenaugmentation durchzuführen, gibt es verschiedene Möglichkeiten und Techniken. Die dabei eingesetzten Materialien müssen die physikalischen, biologischen und strukturellen Eigenschaften des zu ersetzenden Knochens imitieren. (Klein, Al-Nawas, 2011)

Im Wesentlichen wird bei den Transplantatmaterialien zwischen folgenden Vorgängen bei der Integration unterschieden: der Osteokonduktion, der Osteoinduktion sowie der Osteogenese. Die osteokonduktiven Materialien dienen als Leitgerüst, und sind in der Lage das natürliche Knochenwachstum zu leiten, während osteoinduktive Materialien die Umwandlung der Progenitorzellen in den knochenbildenden Zellen einleiten. Ein Ersatzmaterial besitzt dann osteogenetische Fähigkeiten, wenn Osteoblasten im Knochenersatzmaterial vorhanden sind (Gutwald, Gellrich & Schmelzeisen, 2018). Bei der Herkunft von Transplantaten und Knochenersatzmaterialien unterscheidet man zwischen autogenen, allogenen sowie xenogenen und alloplastischen Materialien (Abbildung 5) (Schwenzer, Ehrenfeld, 2019).

Einteilung von Biomaterialien	Erklärung
Autogen/Autolog	Vom Patienten selbst
Allogen	Von einem Individuum derselben Spezies
Xenogen	Von einer fremden Spezies
Alloplastisch	Körperfremde, künstliche Materialien

Abbildung 5: Einteilung von Biomaterialien (Schwenzer, Ehrenfeld, 2019)

Je nach Größe und Indikation gibt es verschiedene Knochenentnahmestellen, um autologen Knochen zu gewinnen. Bohrspäne, die bei der Implantation anfallen, können beispielsweise freiliegende Implantatoberflächen abdecken. Bei den intraoralen Entnahmestellen bietet sich der aufsteigende Unterkieferast am besten an. Hier können die Knochentransplantate gut entnommen und mit Osteosyntheseschrauben in die gewünschte Region transplantiert werden. Bei sehr großem Knochenbedarf muss auf extraorale Gebiete wie der Beckenkamm bzw. der Tibiakopf zurückgegriffen werden. Das allogenes Transplantat, auch Allograft genannt, wird von derselben Spezies von einem Individuum in ein anderes transplantiert, z.B. gefriergetrockneter DFDB (decalcified freeze-dried bone). Dieses wird aber aufgrund der zahlreichen Nachteile wie Abstoßungsreaktionen und vor allem mögliche Übertragungen verschiedener Erkrankungen selten gewählt (Abbildung 6).

Xenogene Materialien sind von ihren Eigenschaften rein osteokonduktiv, leicht herzustellen und besitzen sehr wenig Risiko Krankheiten zu übertragen. Es sind meist auf bovinen Knochen basierender Hydroxylapatit, die eine mikroporöse Struktur aufweisen und deproteiniert werden, sodass sich de facto nur noch anorganische Matrix darin befindet (z.B. Bio – Oss) (Gutwald, Gellrich & Schmelzeisen, 2018).

Die alloplastischen Materialien sind synthetisch hergestellt und dienen in erster Linie als Defektfüller. Auch sie haben nur osteokonduktive Eigenschaften. Man unterscheidet hier unter anderem zwischen Polymeren, Tricalciumphosphat, Bioaktive Gläser usw. (Abbildung 7)

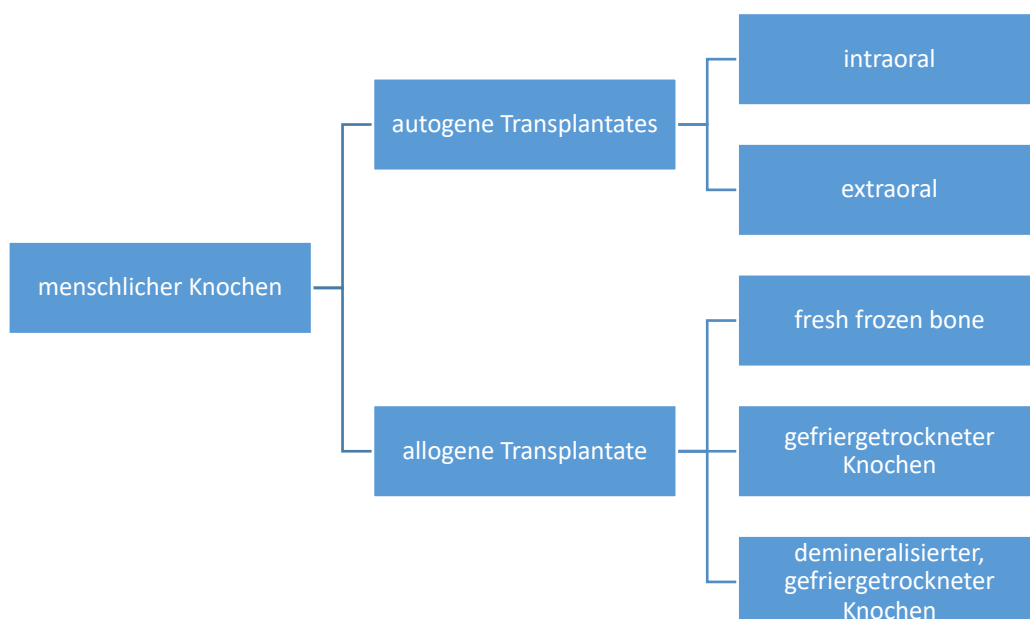


Abbildung 6: Knochenersatzmaterialien, humaner Herkunft

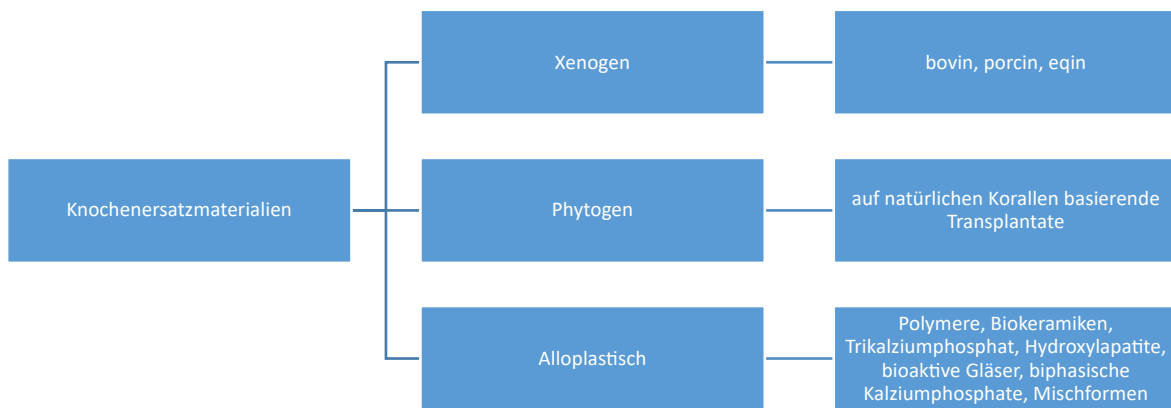


Abbildung 7: Knochenersatzmaterialien, nicht humaner Herkunft

Unabhängig davon, welches Knochenersatzmaterial verwendet wird, sollte es für eine Sinusbodenaugmentation folgende Funktionen erfüllen (Testori et al., 2019):

- die Aufrechterhaltung des Volumens unter der Sinusmembran
- Begünstigung der Migration osteogener Zellen
- die Knochenneubildung in den von knöchernen Wänden entfernten Abschnitten begünstigen
- die Angiogenese unterstützen
- einen normalen Knochenumbau ermöglichen

Bei der Setzung von Implantaten in Knochendefekte, fördern osteoinduktive Materialien die gleichmäßige Knochenneubildung in diesem Bereich über einen enchondralen oder intramembranösen Mechanismus (Rebaudi, Silvestrini & Trisi, 2003). Bei Osteokonduktiven Materialien begünstigt die Implantation in eine Knochendefektsituation eine Knochenneubildung von den Knochenrändern ausgehend, indem sie das Grundgerüst der Osteoblasten darstellen (Schlickewei, Schlickewei, 2007).

4.3.1 Materialauswahl für die Sinusaugmentation

Das Knochenersatzmaterial hat die Aufgabe, nach dem Anheben der Sinusmembran, diese zu halten, bis der Raum darunter vollständig mit Knochen aufgefüllt ist. Daher müssen die verwendeten Materialien mechanisch stabil und auch resorptionsstabil sein. Bei einer zu schnellen Resorption würde sich das Volumen verringern und eine Implantatinserion mit ausreichender Länge wäre nicht möglich (Testori et al., 2019). Der autologe Knochen gilt als bevorzugtes Transplantatmaterial, da er die Eigenschaften wie Biokompatibilität mit dem Knochengewebe, osteokonduktive und osteoinduktive sowie gute mechanische Eigenschaften ideal vereinigt. Im Laufe der Zeit resorbiert sich das augmentierte

Knochenersatzmaterial, wird jedoch durch neu gebildeten Eigenknochen ersetzt. Die resorbierbaren und mechanischen Eigenschaften hängen hier allerdings auch von der Knochenstruktur, also der Entnahmestelle ab (Ozaki, Buchman, 1998). Um das chirurgische Verfahren zu vereinfachen, werden Knochenersatzmaterialien anstelle des autologen Transplantates verwendet, da die Transplantatentnahmestelle Risiken mit sich bringen kann. Sie sind mit zusätzlichen Kosten verbunden, zeigen aber in zahlreichen Studien gute Ergebnisse (Lutz et al., 2015) (Rapone et al., 2022) (Jamcoski et al., 2023). In Bezug auf die Implantatüberlebensrate lassen sich jedoch keine Unterschiede zwischen autologen Knochen und Knochenersatzmaterialien (Starch-Jensen et al., 2018).

Xenogene Materialien besitzen unterschiedlich starke osteokonduktive Eigenschaften und Resorptionszeiten, jedoch keine osteoinduktiven Eigenschaften (Testori et al., 2019). Müssen Strecken von ca. 3 mm horizontal oder vertikal aufgebaut werden, zeigt die Kombination aus partikulärem Material und Membran eine gute Vorhersagbarkeit des Behandlungserfolges (Tolstunov et al., 2019). Die aktuellen Leitlinien der DGI (Deutsche Gesellschaft für Implantologie) sprechen eine klare Empfehlung für den Einsatz von Knochenersatzmaterialien xenogener, synthetischer und allogener Herkunft im Rahmen einer Sinusbodenaugmentation aus. Bei komplexen Fällen sollte die Implantation in einer sekundären Operation erfolgen (Markus Tröltzsch et al., 2020).

4.4 Biologisierung von Knochenersatzmaterial

Die Entdeckung der Gewebedifferenzierung durch BMP sowie die heutigen Erkenntnisse der Wundheilung eröffnen neue therapeutische Möglichkeiten im Gebiet der Knochenregeneration. Bereits in den Zeiten des zweiten Weltkrieges wurde Tierexperimente mit Knochenmarksproteinextrakten durchgeführt, 1965 extrahierte M.R. Urist die verantwortlichen Proteine aus dem Knochen und nannte sie „Bone Morphogenetic Proteins“, kurz BMP. Obwohl es heutzutage möglich ist, fast jedes Protein rekombinant nachbauen zu können, ist das autologe Knochen transplantat die Basis für klinische Arbeiten.

Anders ist dies beim Tissue engineering. Hierbei versteht man die gezielte Beeinflussung der Wundheilung, um die Regeneration der Gewebe oder von ganzen Organen zu erreichen.

Dies bedarf 3 Faktoren:

- Zellen
- Matrix
- Signalmolekülen

Knochenersatzmaterialien dienen als Matrix, in den Gewebszellen findet untereinander eine Kommunikation statt und Signalproteine (Zytokine) sezernieren in das Interstitium des Gewebes. Zytokine sind Eiweißmoleküle, welche mit Rezeptoren auf den Zelloberflächen zusammenarbeiten (Terheyden, 2021). Um eine Knochenheilung zu ermöglichen, braucht es die Abfolge der genau kontrollierten Interaktionen zwischen Zellen, Matrix und den Signalmolekülen. Die Auslösung der Kaskade von Ereignissen, die eine korrekte koordinierte Integration ermöglicht, ist ausschlaggebend für die Entstehung einer Neoosteogenese (Testori et al., 2019). Es gibt verschiedene knochenwachstumfördernde Prinzipien in der oralen Knochenregeneration. U.a. sind dies: rekombiniertes Bone Morphogenetic Proteins (BMP), native autologe Wachstumsfaktoren (PRF, PRP), rekombinante Wachstumsfaktoren, Gentherapien oder Stammzelltherapien. Auf dem Gebiet der dentalen Implantologie kann Tissue engineering für unterschiedliche Ziele eingesetzt werden:

- zur besseren Integrität von Implantaten
- Unterstützung von autologen Knochentransplantaten
- Beschleunigung der Wundheilung
- bessere Periimplantäre Knochenqualität

Nach wie vor ist aber autologer Knochen der Goldstandard der Regenerationstherapie. Die zellbasierten Therapien erfüllen noch nicht die gesetzten Erwartungen, nur rekombiniertes BMP erfüllten in zahlreichen Studien einen konstant signifikanten Effekt (Terheyden, 2021).

4.4.1 PRF

Als PRF (Platelet – rich – fibrin) bezeichnet man eine durch Eigenblut gewonnene Substanz, die eine fibrinreiche, körpereigene Matrix darstellt. Durch das Zentrifugieren des Eigenblutes ist es möglich Fibrin sowie Wachstumsfaktoren (Zytokine) zu isolieren. Fibrin ist ein Protein, das zur Blutstillung und auch als Schutzbarriere dient, die Wachstumsfaktoren fördern die Zellmitose und induzieren Angiogenese und Osteogenese. Zu ihnen zählen unter anderem PDGF (platelet – derived – growth – factor), TGF – β 1 (transforming growth factor β 1), IGF – 1 (Insulin – like growth factor 1) oder VEGF (vascular endothelial growth factor) (Borie et al., 2015).

Die im PRF enthaltenen Thrombozyten, Zytokine, Leukozyten, Glykoproteine und glykämischen Ketten wirken wie ein Fibrinnetz, das die Proliferation und Differenzierung

weiterer Zellen vorantreibt und eine örtliche Regeneration initiiert (Miron, Choukroun, 2017).

Dadurch gilt Fibrin als Angiogeneseinitiator und stellt den Nährboden für eine epitheliale optimierte Wundheilung dar (Faot et al., 2017). In der oralen Chirurgie findet PRF ein breites Anwendungsspektrum, entweder in flüssiger Form, als Membran oder als Clots. Flüssig kann es der Biologisierung von Knochenersatzmaterialien, Membranen oder Implantaten dienen, in Membranform werden Augmentate abgedeckt, der Knochen nach Behandlung einer Kiefernekrose versorgt, zur Rezessionsdeckung verwendet oder beim Sinuslift eine Auflagerungsplastik bzw. Defektdeckung durchgeführt. Als Clot kann man eine Osteotomie/Zystektomie – Defekt füllen, eine Alveolar – Ridge Preservation durchführen und beim Sinuslift einsetzen (Ghanaati et al., 2018). Der Einsatz von PRF – Clots vermischt mit xenogenen Knochenersatzmaterial bei Sinusbodenaugmentationen zeigen gute Ergebnisse bezüglich der Knochenstabilität. Auch kann eine Perforation der Schneider´schen Membran, die im Rahmen eines lateralen Sinuslift auftreten kann, mit einer PRF – Membran verschlossen werden und die Operation ohne Komplikationen weitergeführt werden. Dennoch ist eine Sinusbodenaugmentation alleinig mit PRF und ohne das Einsetzen von Knochentransplantaten oder partikulären Knochenersatzmaterial nicht empfehlenswert, da PRF resorbiert und den Raum unter der Schneider´schen Membran nicht angemessen halten kann (Barbu et al., 2018).

4.5 Membranen

Durch den Einsatz von Membranen, welche ursprünglich aus der Parodontologie kommen, hat sich mit der Zeit eine neue Technik entwickelt, die Guided Bone Regeneration (GBR) genannt wird. Ziel dieser Technik ist es, eine Barriere zwischen dem schnell wachsenden Bindegewebe und dem langsam wachsenden Knochen herzustellen, um eine erfolgreichere Knochenregeneration gewährleisten zu können. Diese Membranen können aus nativen xenogenen Kollagen, chemisch modifiziertem xenogenen Kollagen, Teflon, Kunststoff oder anderen Materialien bestehen. Die native Kollagenmembran wird mit Wasser aufgeweicht und legt sich an den Knochen an, da das Kollagenmolekül hydrophile Eigenschaften aufweist und im Prinzip wasserlöslich ist. Diese Membran geht mit dem Blutkoagulum eine Verbindung ein, sodass die Zellen keinen Unterschied zwischen eigenem und fremdem Bindegewebe erkennen. Eine zusätzliche Fixierung mit Pins ist hier meist nicht nötig, demnach fällt auch die Entfernung derselben in einem zweiten Eingriff weg. Die Kollagenmembran weist eine hohe Gewebefreundlichkeit auf, sodass physiologische

Schnittführungen zur Anwendung kommen können. Auch sind die unproblematische Verarbeitung und Nachbehandlung ein Vorteil dieses Materials. Jedoch kann die tierische Herkunft und mögliche Sensibilisierung auf Fremdproteine einen Nachteil darstellen (Terheyden, 2021). Die chemisch modifizierten xenogenen Kollagenmembranen erfordern eine längere Standzeit, was auch ihre Barrierefunktion erhöht. In einer Studie zur gesteuerten Knochenregeneration wurde das Kollagen einer porcinen, natürlichen Membran einer chemischen Behandlung mit Formalin unterzogen. Dadurch entsteht eine stärkere Quervernetzung, die erhöht die Standzeit der Barrierefunktion. Diese Studie musste aber aufgrund von starken Wunddehiszenzen vorzeitig abgebrochen werden (Becker et al., 2009). Durch eine Modifikation mit Ribose Zuckermolekülen verfolgt man das Ziel, die mechanische Steifheit und somit die Standzeit zu erhöhen. Im Allgemeinen hat sich aber die Regel bestätigt, dass durch die Modifikationen die Gewebe stärker strapaziert werden und Wunddehiszenzen gehäuft auftreten können. Ebenso erfordern die modifizierten Membranen ein sicheres Weichgewebsmanagement, da sie stärker zu Dehiszenzen neigen als native Kollagen - Membranen (Terheyden, 2021). Bei der laterale Sinusbodenaugmentation wird zum Abdecken des Zugangsfensters eine resorbierbare Kollagenmembran verwendet. Diese kann auch zum Abdecken kleiner Membranperforationen genutzt werden (Testori et al., 2019).

5.0 Implantation

Knochenverankerte Implantate sind in der modernen Zahnmedizin von großer Bedeutung. Neben prothetischen Indikationen für Zahnersatz wie Einzelzahnlücken, Freirandsituationen oder vollständig zahnlose Kieferabschnitte, erstreckt sich das Einsatzgebiet auf die Traumatologie, Kieferorthopädie sowie die funktionelle und ästhetische Rehabilitation von deformierten und postonkologischen Patientinnen und Patienten. Derzeit sind die meisten Implantate aus Titan, aber auch Keramik-Implantate befinden sich in fortschreitender Entwicklung. Nach dem Einsetzen des Implantats in den Kiefer erfolgt die initiale Verankerung (Primärstabilität) durch einen Presssitz. Nach Starten der Wundheilungskaskade beginnt der Um- und Aufbau der Knochen/Implantat-Grenzfläche (Remodeling), was zur tatsächlichen Einheilung des Implantats führt. Das Implantat bildet einen strukturellen und funktionellen Verbund mit dem Knochen, es osseointegriert. Diese Osseointegration ist von der Knochenqualität-, Quantität sowie der Implantatoberfläche abhängig.

Die Anzahl, Position und Dimension der Implantate müssen so gewählt werden, dass die Lastübertragung der Restauration aus statischer Sicht gewährleistet ist und somit eine Überbelastung verhindert werden kann. Eine Atrophie und somit auch ein reduziertes Hart- bzw. Weichgewebsangebot kann die Implantation erschweren, da diese beiden Parameter für eine Langzeit - Erfolgsrate ausschlaggebend sind. Ist dies nicht der Fall, muss das Volumen durch augmentative Verfahren vermehrt werden. Durch den Einsatz kurzer und durchmesserreduzierter Implantate kann der Augmentationsbedarf verringert werden, aber auch hierfür muss ausreichend Knochen vorhanden sein, um eine adäquate Primärstabilität zu erreichen (Al-Nawas et al., 2012).

6.0 Präoperative Diagnostik und Kontraindikationen

Bei der Wahl des operativen Vorgangs ist es wichtig, sich durch eine präoperative Diagnostik einen möglichst genauen Überblick über die allgemeingesundheitliche und die orale Situation der Patientin und des Patienten zu verschaffen.

Um allgemeine Risiken, Grunderkrankungen und eventuelle Kontraindikationen vor der chirurgischen Planung erkennen zu können, ist es notwendig eine ausführliche Anamnese durchzuführen. Dabei wird unter folgenden Unterschieden (Tabelle 1):

Allgemeine Hochrisikofaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • schwerwiegende Knochenerkrankungen • des Stoffwechsels • der Blutgerinnung • des Kreislaufs • des Herzens • des Immunsystems • Immunsuppression • Alkohol- oder Drogenabusus • psychische Störungen • intravenöse Bisphosphonatgabe
Allgemeine Risikofaktoren (relative Kontraindikationen):	<ul style="list-style-type: none"> • Radiotherapie • schwerer Diabetes mellitus; speziell juveniler Diabetes mellitus

	<ul style="list-style-type: none"> • hämorrhagische Diathesen oder Antikoagulation • starker Nikotinabusus.
Temporäre Kontraindikationen:	<ul style="list-style-type: none"> • unbehandelte Parodontitis • Wurzelreste an der Implantationsstelle (eventuell Sofortimplantation nach Extraktion) • lokaler Infekt.
Lokale Risikofaktoren (relative lokale Kontraindikationen):	<ul style="list-style-type: none"> • erosive oder bullöse Erkrankungen der Schleimhaut am Alveolarfortsatz • Bruxismus • parafunktionelle Habits • starker Knochenabbau

Tabelle 1: präoperative Diagnostik, Risikofaktoren (Schwenzer & Ehrenfeld, 2019)

Vor allem eine hoch dosierte Bisphosphonat-Therapie, die zur Behandlung von malignen Tumoren mit Metastasenbildung eingesetzt wird, kann ein großer Risikofaktor für die Entstehung einer Knochennekrose (MONRJ) sein. Daher ist das Setzen eines Implantates, vor allem wenn dies eine mit einer Knochenaugmentation einhergeht, für diese PatientInnen oft kontraindiziert. Bei niedrig dosierten Bisphosphonat-Therapien, die beispielsweise zur Behandlung von Osteoporose oder Hyperkalzämien eingesetzt werden, ist das Risiko deutlich geringer. Bei dieser PatientInnen – Gruppe kann man vermehrt komplikationslose Implantationen beobachten (Schimmel et al., 2018).

6.1 Diagnostik der Kieferhöhle

Um etwaige HNO - Kontraindikationen oder möglicherweise auftretenden Komplikationen im Bereich des Sinus maxillaris beurteilen zu können, ist eine sorgfältige und radiologische Untersuchung dieser vor jeder Sinusbodenaugmentation notwendig (Timmenga et al., 1997). Die Kieferhöhlen – Diagnostik kann neben den konventionellen bildgebenden Verfahren auch mit einer CT – Aufnahme, einer DVT – Aufnahme oder einer Sonografie durchgeführt werden. Eine Nasennebenhöhlenaufnahme im okzipitalen Strahlengang (modifiziert nach

Walters) galt bisher als Standarduntersuchung. Heute wird diese zunehmend von dreidimensionalen Bildgebungen ersetzt. Eine Panoramaaufnahme ermöglicht zwar eine Beurteilung von Pathologien wie Schleimhautretentionszysten oder dentogene Zysten, ist aber für eine umfassende Diagnose nicht ausreichend. Die CT-, sowie DVT - Aufnahme stellt durch die hohe Auflösung meist Knochen-, Weichgewebsstrukturen und luftgefüllte Bereiche in Schnittbildern (fazial, koronal, sagittal) dar. In dieser Aufnahme lassen sich Schleimhautschwellungen und Raumforderungen diagnostizieren. Bei einer Sonografie wird die Kieferhöhle mittels Ultraschalls untersucht. Bei Vorliegen von Flüssigkeitsansammlungen wird der Schall zur Kieferhöhlenhinterwand geleitet, welche bei einer gesunden, mit Luft gefüllten Kieferhöhle nicht ersichtlich ist. Tumore führen auch zu einer Weiterleitung des Echos und werden, je nach Impedanz des Gewebes, abgeschwächt. Basale Kieferhöhlenprozesse, die bei dentogenen Entzündungen auftreten können, sind mit dem Ultraschall schlechter zu erfassen und diagnostizieren (Gutwald, Gellrich & Schmelzeisen, 2018).

Gemäß Tabelle 2 können HNO – Kontraindikationen grob in 2 Gruppen unterteilt werden:

vermutlich irreversible Kontraindikationen	potenziell reversible Kontraindikationen
<ul style="list-style-type: none"> • posttraumatische, postoperative oder durch Bestrahlungen vernarbte Veränderungen der Kieferhöhle • chronische Sinusitis mit oder ohne Polypen • Immunschwäche • benigne, lokal aggressive Tumore • sinusale Malignome 	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage - bzw. Belüftungsstörungen durch Septumdeviation, Concha bullosa, Hypertrophie der Agar-nasi-Zellen • postoperative Vernarbungen • akute Rhinosinusitis • allergische Rhinosinusitis • benigne Tumore, die eine Belüftung des Sinus vor und nach dem operativen Eingriff stören und die Entfernung des mukoziliären Transportsystems nicht beeinträchtigen

Tabelle 2: HNO – Kontraindikationen, (Testori et al., 2019)

6.2 DVT

Ein wesentlicher Bestandteil der präoperativen Behandlungsplanung von oralen Implantaten ist die bildgebende Diagnostik (Harris et al., 2012). Diese diagnostische Bildgebung hat sich in den letzten 30 Jahren stark entwickelt und auch erheblich verbessert. Durch sie ist eine nicht-invasive Analyse für eine implantatprothetische Versorgung möglich, ebenso erlaubt sie die Anfertigung von Führungsschablonen für navigierte Inertionstechniken (Testori et al., 2019). Eine präoperative Diagnostik, bei welcher ausschließlich Panoramaröntgenaufnahmen verwendet werden, reicht meist nicht aus, um anatomische Veränderungen der Kieferhöhle darzustellen. Auch ist eine periapikale Aufnahme allein nicht für die Beurteilung der Kieferhöhle geeignet und muss immer mit anderen Verfahren wie zum Beispiel einer CT – Aufnahme (Computertomographie) oder CBCT – Aufnahme (cone – beam computed tomography, DVT) kombiniert werden (Kao, 2014). Die Cone - Beam - Computertomographie (CBCT) gilt als effektive Methode zur Analyse der Kieferhöhlenstrukturen sowie zur präoperativen Planung von Operationen, bei denen möglicherweise eine Sinusbodenaugmentation vorgesehen ist (Marin et al., 2019). Hierbei werden während einer isozentrischen Rotationsbewegung mit definierten Winkelpositionen einzelne Bilder erzeugt. Diese werden anschließend rekonstruiert und überlagerungsfrei dreidimensional dargestellt. Die DVT in der Zahnheilkunde wird aber nicht nur für implantologische Zwecke verwendet, sondern auch für die Diagnostik dentoalveolärer Prozesse wie verlagerten Zähnen oder Zyste, für kieferorthopädische Fragestellungen oder Fragestellungen und Planungen der Mund – Kiefer - Gesichtschirurgie (Vent-Mehnert, Heussner, 2012).

Gegenüber einer CT - Aufnahme zeichnet sich die DVT durch ein spezialisiertes Design für den dentalen Bereich bei geringerer Strahlendosis aus (ca. 50-90% weniger als bei CT-Aufnahmen des Kopfes) (Okano et al., 2009). Eine DVT - Aufnahme erlaubt durch verschiedene Softwares auch die Möglichkeit einer Analyse und Dimensionsbewertung des Kieferknochens, das Erkennen anatomischer Variationen und Erkrankungen der Kieferhöhle sowie eine digitale Planung der Implantation. Für eine Sinusaugmentation werden CT/DVT Aufnahmen verwendet, um 3-dimensional die Restknochenhöhe im Bereich des Augmentationsgebietes zu messen und das erforderliche Ausmaß des Knochentransplantatvolumens abschätzen zu können. Ebenso wird damit nach dem Eingriff die Dichte der transplantierten Stelle sowie das Volumen dieser beurteilt. DVT – Aufnahmen haben im Vergleich zu CT - Aufnahmen zwar weniger Strahlenbelastung, jedoch weisen sie auch Einschränkungen auf. Die Bildmodalität gibt einen schlechten Weichteilkontrast wieder, was z.B. die Diagnose von Tumoren im Weichgewebe oder ähnliches erschwert.

Befinden sich zwei sehr strahlendichte Objekte nebeneinander (z.B. eine große Metallfüllung oder ein Zahnimplantat) können durch eine Streustrahlung Streifen- und Dunkelbandartefakte auftreten. Diese verschlechtern die Bildqualität sehr und erschweren eine Diagnose (Kao, 2014).

7.0 Erfolgsrate

Das Operationsverfahren der Sinusbodenaugmentation hat in den vergangenen 30 Jahren eine weitere Verbreitung gefunden. Es gibt bereits zahlreiche Studien, die die Sicherheit und Vorhersehbarkeit dieser Techniken belegen (Starch-Jensen et al., 2018) (Duan et al., 2017) (Shah, Chauhan & Shah, 2022). Den wichtigsten Punkt des Langzeiterfolges stellt bei diesen Techniken die Überlebenswahrscheinlichkeit der in ein Knochentransplantat gesetztes Implantat ab dem Zeitpunkt der Insertion. Auch weitere Variablen können den Erfolg beeinflussen. Zu diesen zählen das Transplantatmaterial, der Implantationszeitpunkt, die Implantatoberfläche sowie die Operationstechnik (Testori et al., 2019). Die eine Sinusbodenaugmentation mit simultaner oder zweizeitiger Implantation weist bei der Verwendung von einem xenogenen Knochenersatzmaterial eine Erfolgsrate von ca. 96 % auf (Almeida et al., 2023).

8.0 Material und Methode

8.1 Studienziel

Ziel dieser Studie ist der Vergleich der Langzeitergebnisse zweier simultaner Augmentationsverfahren im Bereich des Sinus maxillaris, um zukünftig hinsichtlich der Operationsmethodenwahl eine zusätzliche Orientierungshilfe bieten zu können.

8.2 Studiendesign

Der Studie ging ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz mit der EK. Nr. 35 – 165 ex 22/23 voraus.

Diese Arbeit stellt eine retrospektive Datenanalyse anhand von DVT-Datensätzen dar. Dafür wurden DVT-Datensätze aus der niedergelassenen Ordination Dr. Rainer Peer (Mozartstrasse 11, 8720 Knittelfeld) untersucht, welche im Zeitraum von 2012 bis 2022 nach lateraler bzw. krestaler Sinusbodenaugmentation durchgeführt worden sind.

8.3 Haupt und Nebenzielgrößen

Hauptzielgröße ist die vertikale Knochenhöhe mindestens 5 Jahre nach Anwendung der augmentativen Verfahren im Bereich der simultan gesetzten Implantate am DVT.

Zu den klinischen Nebenzielparametern zählen das Alter, Geschlecht, Rauchgewohnheiten, allgemeinmedizinische Risikofaktoren und die Implantatlänge an der Messposition. Die radiologischen Nebenzielparameter beinhalten prä- und postoperative Nebenbefunde im Sinus maxillaris (Schwellung, Unterwood Septen, Klassifikation des Sinus maxillaris)

8.4 Auswahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer

8.4.1 Einschlusskriterien

Um in die Studie eingeschlossen zu werden, mussten die Datensätze der PatientInnen folgende Kriterien erfüllen:

- medizinisch gesunder Erwachsener (gemäß ASA – Klassifikation Grad 1 und 2)
- Nicht-Raucherinnen und Raucher, ehemaliger Raucherinnen und Raucher, leichte Raucherinnen und Raucher unter 10 Zigaretten/Tag
- ein oder mehrere fehlende Zähne im Oberkiefer Seitenzahnbereich mit einem Knochendefekt, welcher eine Sinusbodenaugmentation erfordert
- keine Pathologie des Sinus maxillaris, die eine akute Behandlung erfordert
- erfolgter Sinuslift im Zeitraum von 01.01.2012 – 31.12.2017
- Erfolgtes DVT im Zeitraum von 01.01.2012 – 31.12.2017 zur präoperativen Restknochenbeurteilung
- Erfolgtes DVT im Zeitraum von 01.01.2017 – 31.12.2022 zur postoperativen Knochenbeurteilung

8.4.2 Ausschlusskriterien

TeilnehmerInnen, welche folgende Kriterien aufweisen, wurden aus der Studie ausgeschlossen

- medizinisch beeinträchtigter Erwachsener (gemäß ASA – Klassifikation Grad 3 oder höher)
- PatientInnen, welche eine vorangegangene oder laufende Therapie mit Bisphosphonaten oder eine lokale Radiotherapie erhalten
- allgemeine Kontraindikationen gegen einen implantatchirurgischen Eingriff wie z.B. Immundefizit, Radiotherapie, Kortikosteroide-Therapie
- starke Raucher*innen über 10 Zigaretten/Tag
- akute Sinusitis mit Behandlungsbedarf
- PatientInnen unter 18 Jahre und über 80 Jahre
- Schwangerschaft
- im Zeitraum von 01.01.2012 – 31.12.2022 ist keine prä- und/oder postoperative DVT - Aufnahme vorhanden
- Die DVT - Datensätze sind aufgrund von Artefakten nicht auswertbar

8.5 Studienablauf

8.5.1 Datenauswertung der DVT-Datensätze

Die in der Studie analysierten DVT-Datensätzen wurden mittels eines zertifizierten Röntgengerätes (Soredex Scanora 3D) angefertigt. Es erfolgte die Auswertung der präoperativen DVT – Datensätze mittels der Vermessungssoftware „OnDemand 3D, Version 1.0.10.430, Cybermed“. Die Messungen fanden an den präoperativen DVT - Aufnahmen vor der Implantation sowie an den postoperativen DVT - Aufnahmen nach einem Zeitraum von mindestens 5 und maximal 10 Jahren nach dem augmentativen Eingriff statt. Diese umfassten die Regionen 14 - 17 sowie 24 – 27 gemäß dem FDI – Schemas. Ebenso wurde das Auftreten von Unterwood Septen, eventuelle Verschattungen der Kieferhöhle, sowie die anatomischen Gegebenheiten der Kieferhöhle, welche in eine Klassifikation unterteilt wurden, dokumentiert.

8.5.2 Klassifikation der Kieferhöhle

Bei der Auswertung und Einteilung in die Klassifikation der anatomischen Gegebenheiten diente die Studie von Niu et al. aus dem Jahr 2018 als Vorbild (Niu et al., 2018). Bei dieser Klassifikation teilten Niu et al. die Kieferhöhle durch Beurteilung einer DVT - Aufnahme in 5 Typen mit den dazugehörigen Subtypen. Anhand der buccalen und palatinalen anatomischen Konfiguration der Kieferhöhle werden folgenden Typen unterschieden:

- Typ A: schmal kegelförmig
- Typ B: kegelförmig
- Typ C: eiförmig
- Typ D: quadratisch
- Typ E: unregelmäßig

Zusätzlich zu den Typen A - D werden noch weitere Subtypen unterschieden, abhängig davon, ob ein buccaler oder palatinaler Knochendefekt besteht (Abbildung 8). Beim Subtyp 1 ist kein Defekt vorhanden, Subtyp 2 weist einen buccalen Sinus Defekt (BSR) auf und Subtyp 3 einen palatinalen nasalen Defekt (PNR). Es liegt ein PNR vor, wenn inferiorer Gaumenwandwinkel in der Kieferhöhle, der untere Teil der Kieferhöhle sowie der untere Teil der seitlichen Nasenwand in die Nasenwand hineinragen. Eine BSR liegt dann vor, wenn der inferiore Winkel der bukkalen Wand in der Kieferhöhle und der Sinusboden in die bukkale Seite hineinragen.

Für den Typen E werden folgende Subtypen unterschieden (Abbildung 9):

Subtyp 1 weist eine oder mehrere in den Sinus Maxillaris ragende/ ragenden Zahnwurzel/ Zahnwurzeln auf, Subtyp 2 eine irreguläre Sinus maxillaris und bei Subtyp 3 befinden sich Septen oder Exostosen im Sinus maxillaris.

Abbildungen 8 und 9 zeigen die Klassifikation gemäß Niu et al.

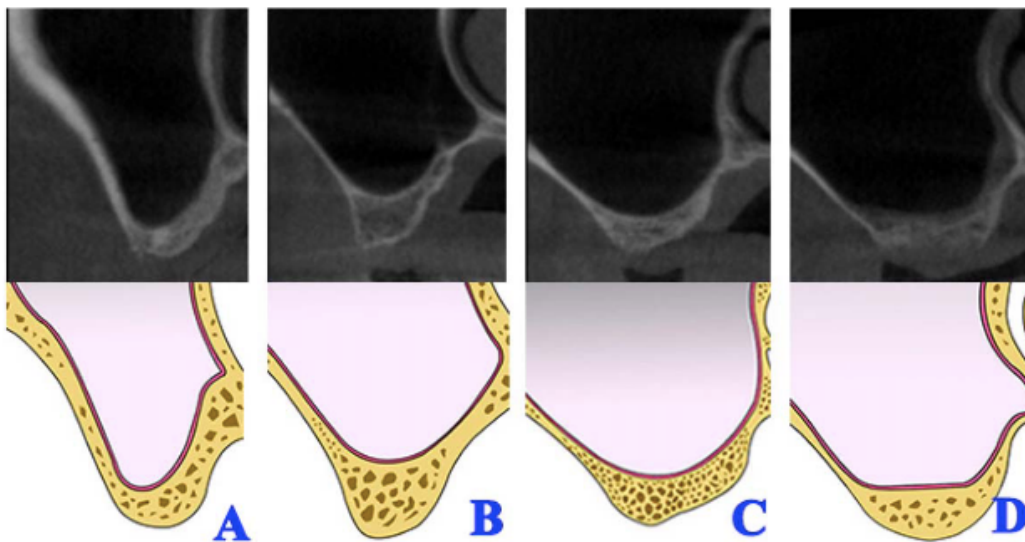


Abbildung 8: Kieferhöhlen - Typen A-D

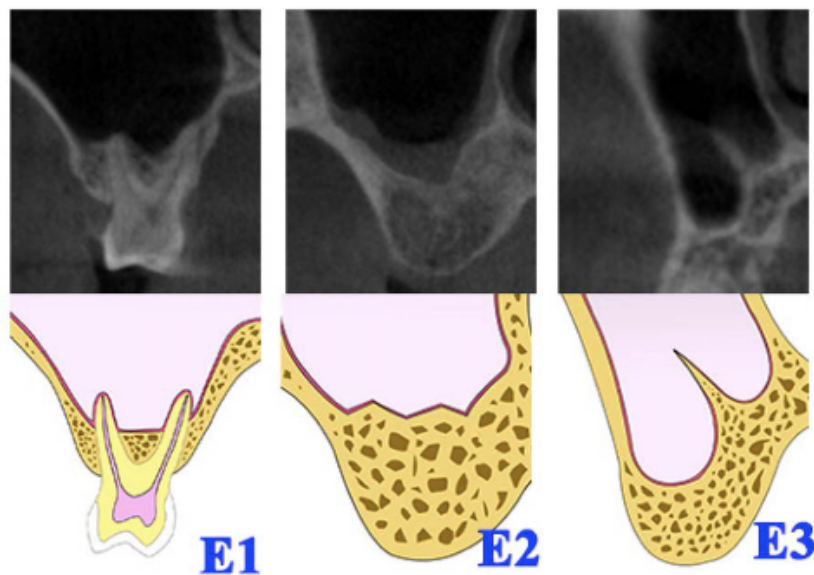


Abbildung 9: Kieferhöhlensubtypen der Klasse E

8.6 Vermessungen der DVT – Datensätze

Um die Messungen durchführen zu können, erfolgte die Einstellung der Schnittbilder in den koronalen, sagittalen und axialen Ebenen im Bereich der geplanten Augmentationsstelle. Die anschließend vertikale Vermessung des Alveolarknochens wurde vom marginalen Knochenniveau zum Bereich des Kieferhöhlenbodens durchgeführt. Bei den postoperativen Messungen diente die Implantatlänge von Schulter (auf cervikalem Alveolarfortsatzniveau befindend) bis zum Apex als konstanter Bezugspunkt und der ursprünglich augmentierte Restknochen apikal des Implantates wurde vermessen. Ergab sich in dieser Region ein negativer Wert, so zeigte dieser, dass apikal des Implantates eine Resorption stattgefunden hat. Die Differenz zwischen der präoperativen und postoperativen Messung ergab die Knochenhöhe, welche durch das jeweilige Augmentationsverfahren nach dem definierten Zeitraum noch vorhanden war. Die Vermessung der Datensätze ist anhand der Abbildungen 10 - 13 dargestellt.

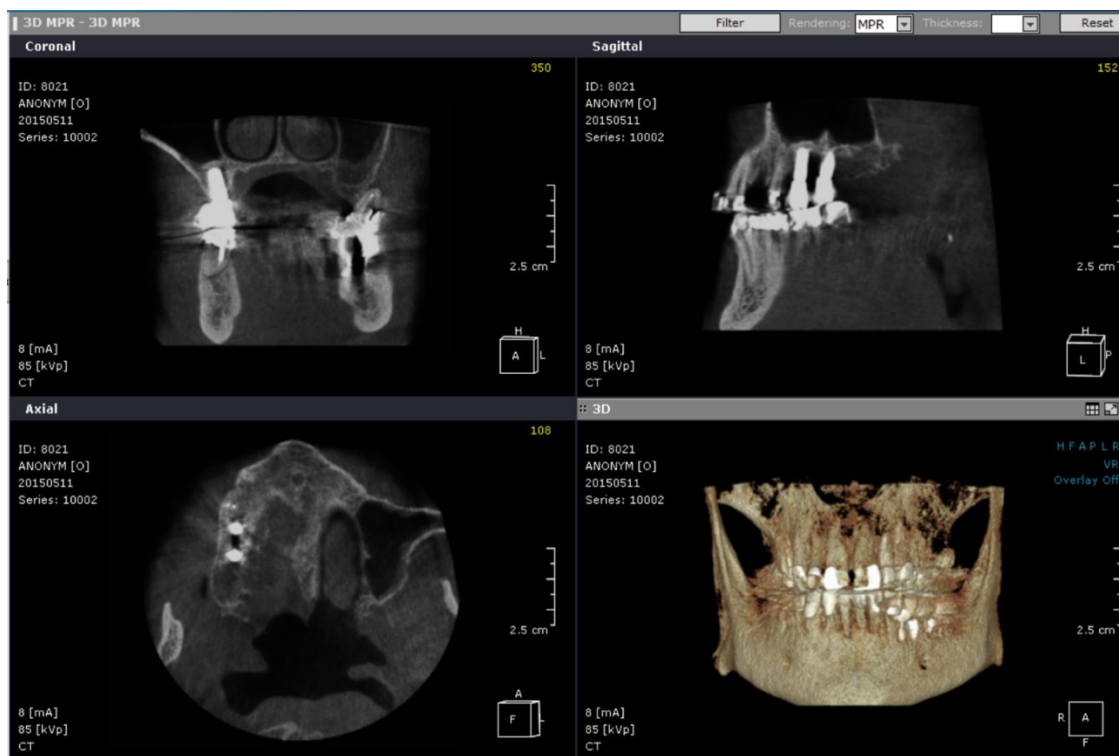


Abbildung 10: Screenshot Vermessung der Datensätze; Übersicht der Schnittbilder

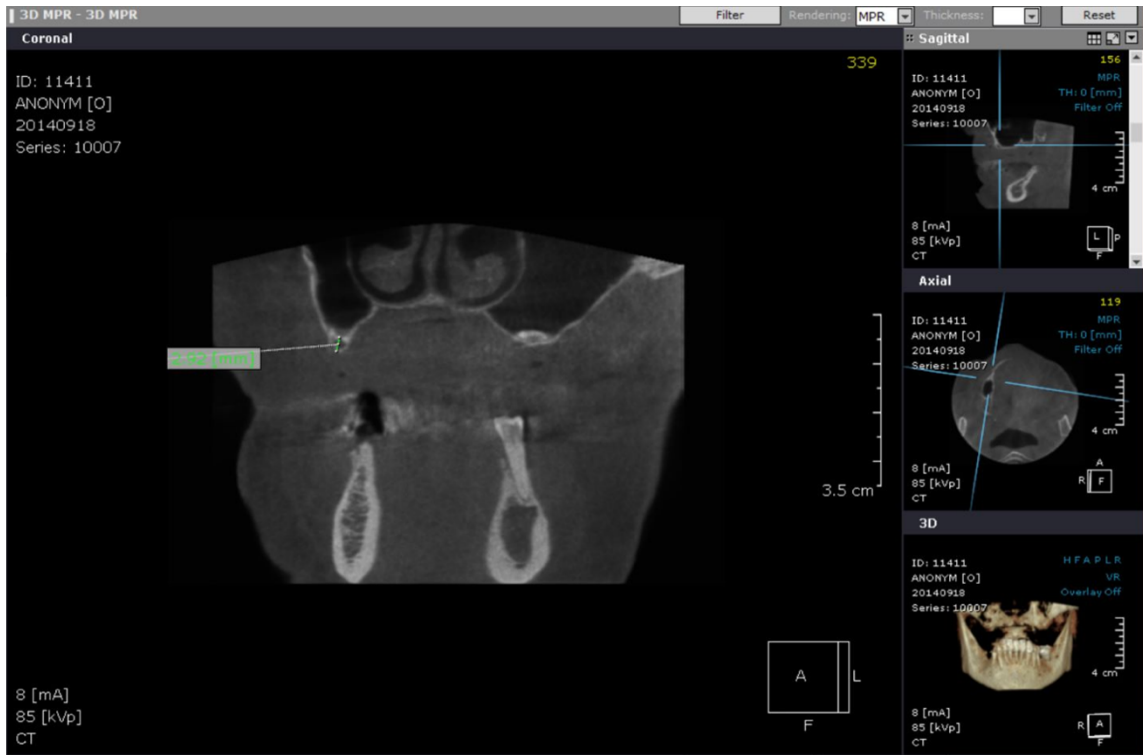


Abbildung 11: Screenshot Vermessung der Datensätze; koronaler Schnitt prä-operativ



Abbildung 12: Screenshot Vermessung der Datensätze; sagittaler Schnitt post-operativ



Abbildung 13: Screenshot Vermessung der Datensätze; koronaler Schnitt postoperativ

8.7 Verarbeitung der Daten und Auswertung

Die von der Ordination Dr. Rainer Peer pseudonymisiert erhaltenen Daten wurden mithilfe des zur Verfügung gestellten Programms „OnDemand 3D, Version 1.0.10.430, Cybermed“ vermessen und in einem Datenanalyseprogramm (Microsoft Excel®) als Tabelle eingegeben und gespeichert. Die Erstellung der Grafiken erfolgte ebenso mit diesem Programm. Es erfolgte die deskriptive statistische Auswertung von Frau Dipl. - Ing. Mischak mithilfe der Statistiksoftware SPSS (IBM, SPSS Statistics Version 29) durchgeführt.

Für die Ermittlung des Signifikanzwertes p von den Mittelwerten der aufgebauten Knochenhöhe, wurde ein T-test Verfahren für unabhängige Stichproben angewandt. Allgemein gültig werden p – Werte $\leq 0,05$ (5%), der Irrtumswahrscheinlichkeit entsprechend, als statistisch signifikant definiert.

9.0 Studienergebnisse

Nach Suche in der Patientendatenbank der Ordination Peer und Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien, ergab sich eine Fallzahl von 15 PatientInnen und 21 Positionen, bei diesen eines der beiden Operationsverfahren durchgeführt wurde. Für den lateralen Sinuslift konnte ein Patientenkollektiv von 5 PatientInnen und 11 Augmentationspositionen erfasst werden, für den krestalen Sinuslift ein Kollektiv von 10 PatientInnen und 10 Augmentationspositionen. Bei allen PatientInnen wurden Bone Level Implantate der Firma Straumann (Straumann Holding AG, 4002 Basel, Schweiz) mit einer Länge von 10 mm gesetzt. Als Knochenersatzmaterial wurde Bio Oss®, ein xenogenes Material der Firma Geistlich (Geistlich Pharma AG, 6110 Wolhusen, Schweiz) verwendet.

Die Operationspositionen erstreckte sich von Position 4 bis 7 und verteilte sich wie folgt (Abbildung 14): beim lateralen Sinuslift betraf die häufigste Position die des ersten Molaren mit 45%, Position 5 zu 36% und die Positionen 4 und 7 zu 9%. Auch beim krestalen Sinuslift erfolgte die häufigste Operation im Bereich des ersten Molaren mit 80%, die Positionen 4 und 5 waren mit 10% vertreten. Es wurde kein krestales Augmentationsverfahren in der Region 7 durchgeführt.

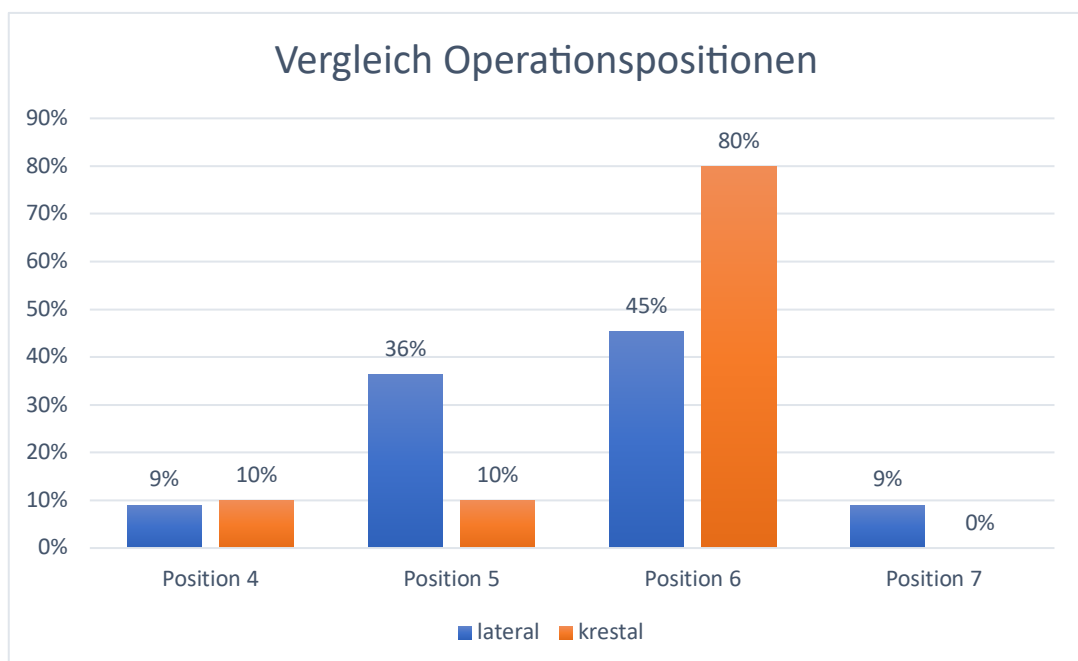


Abbildung 14: Vergleich Operationspositionen

9.1 Ergebnisse der Hauptzielgröße Knochenhöhe

Bei der Auswertung ergab die präoperative Restknochenhöhe beim lateralen Sinuslift mit $N = 11$ ein Minimum von 1,23 mm und ein Maximum von 5,45 mm. Im Mittelwert betrug diese 3,34 mm ($\pm 1,3$).

Die Gesamtknochenhöhe 5 - 10 Jahre nach dem operativen Verfahren betrug mit der Methode des lateralen Zuganges im Minimum 8,2 mm und im Maximum 12,1 mm. Der Mittelwert betrug 10,58 mm ($\pm 1,09$). Somit zeigte der Wert des augmentierten Knochens eine Höhe von 7,24 mm ($\pm 1,33$) im Durchschnitt (Abbildung 15). Die apikale Knochenüberdeckung der Implantate wies im Mittelwert 0,6 mm auf (Abbildung 17).

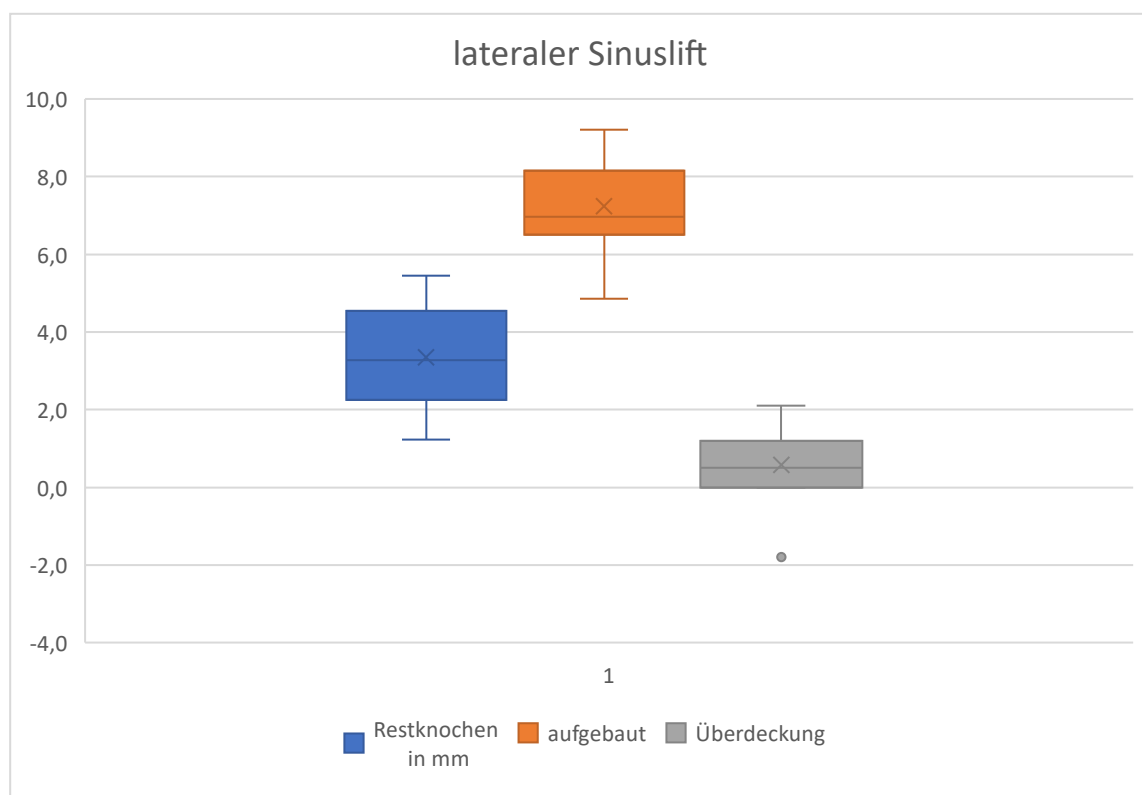


Abbildung 15: Vergleich lateraler Sinuslift prä- und postoperativ

Beim krestalen Augmentationsverfahren mit N = 10 ergab das präoperative Minimum einen Wert von 1,8 mm und ein Maximum von 8,6 mm. Hier betrug der Mittelwert der Restknochenhöhe 4,85 mm (+/- 2,03).

Die Gesamtknochenhöhe 5 - 10 Jahre nach dem operativen Verfahren zeigte sich im Minimum 9,4 mm, im Maximum 12,3 mm, also 10,32 mm (+/- 0,79) durchschnittlich. Im Schnitt wurde beim krestalen Sinuslift 5,74 mm (+/- 1,96) Knochen augmentiert (Abbildung 16). Die apikale Knochenüberdeckung der Implantate zeichnet sich im Mittel mit 0,32 mm ab (Abbildung 17).

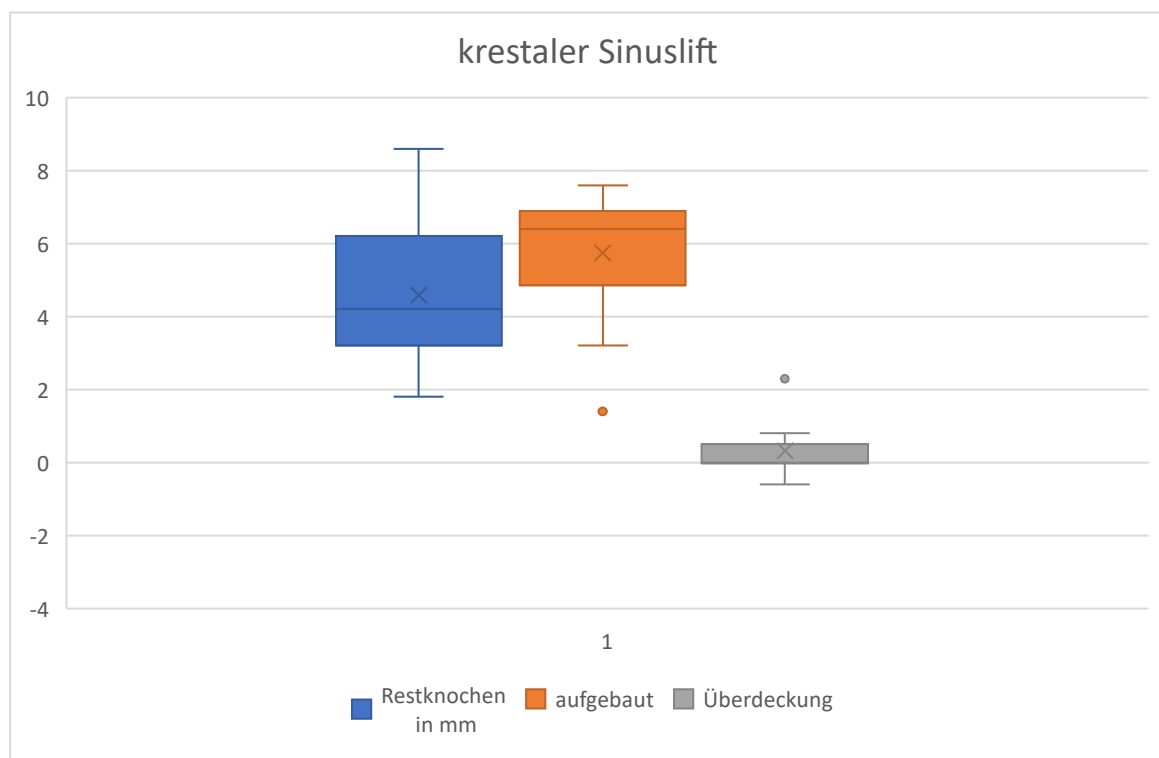


Abbildung 16: Vergleich krestaler Sinuslift, prä- und postoperativ

Die unten angeführten Diagramme (Abbildung 17 und 18) dienen zur besseren Veranschaulichung der Überdeckung der beiden Operation – Verfahren des augmentierten Knochens im Mittel.

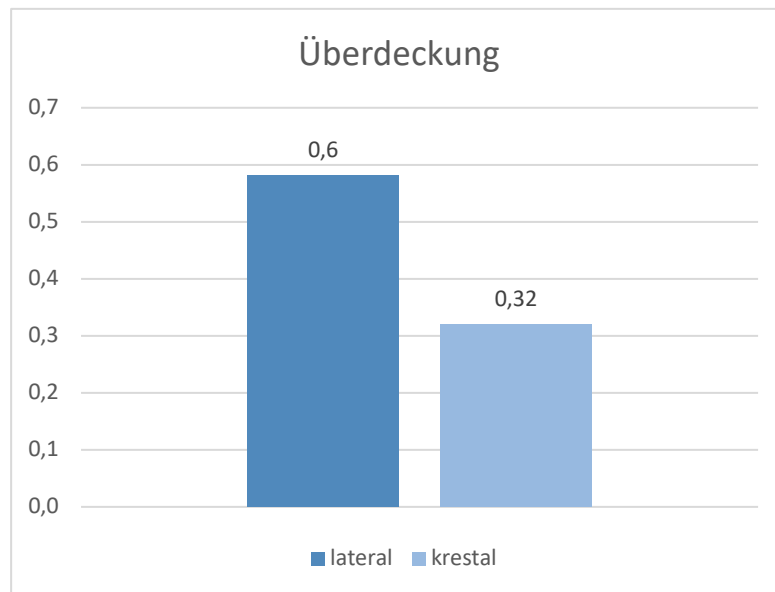


Abbildung 17: Diagramm Mittelwert Überdeckung lateraler und krestaler Sinuslift

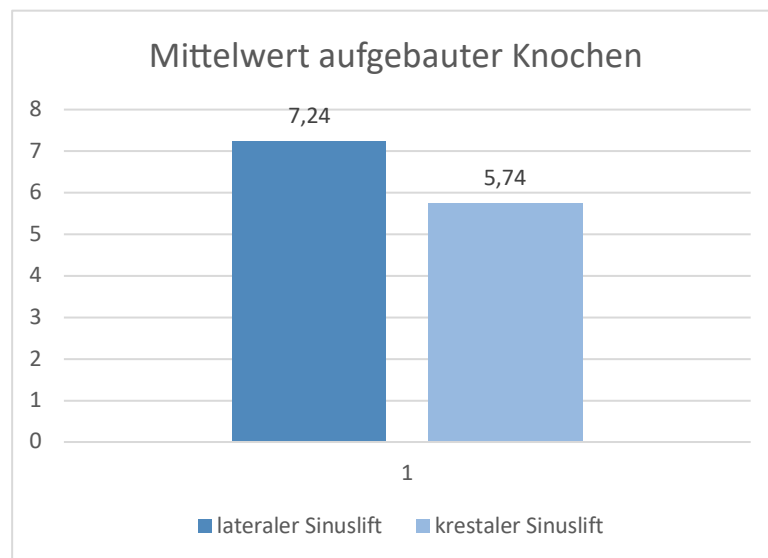


Abbildung 18: Diagramm Mittelwert des aufgebauten Knochens lateraler und krestaler Sinuslift

Der Unterschied zwischen den Werten des aufgebauten Knochens beider Verfahren ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p = 0,052$ knapp nicht signifikant.

9.2 Nebenzielgrößen

9.2.1 Geschlechterverteilung und Alter

Bei Insgesamt 15 PatientInnen wurden die Operationen bei 7 (46,67%) Männern und 8 (53,33%) Frauen durchgeführt. Dies ergibt ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis von 53:46 (Abbildung 19).

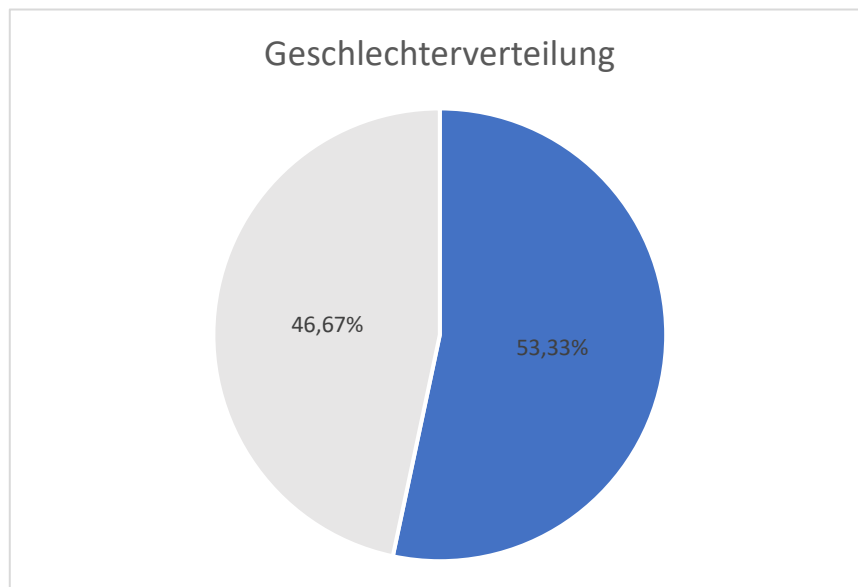


Abbildung 19: Geschlechterverteilung

Das Alter der PatientInnen betrug bei der Anwendung der operativen Verfahren zwischen 40 und 76 Jahren.

9.2.2 Allgemeinmedizinische Risikofaktoren, Rauchgewohnheiten

Bei 15 Patientinnen bzw. Patienten gaben 14 an, Nichtraucherin bzw. Nichtraucher zu sein, eine Patientin bzw. ein Patient beschreibt sich als gelegentliche Raucherinnen bzw. Raucher. Keine der Patientinnen und Patienten wies allgemeinmedizinische Risikofaktoren im Sinne von Autoimmunerkrankungen, st. p. Radiatio, Osteoporose oder die Einnahme von Medikamenten zu deren Behandlung auf.

9.3 Radiologische Nebenzielparameter

9.3.1 Anatomie der Kieferhöhle

Die anatomischen Gegebenheiten der Kieferhöhle wurde entsprechend einer Studie von Niu et al. aus dem Jahr 2018 eingeteilt. Die präoperative radiologische Auswertung ergab beim lateralen Sinuslift, dass Typ B mit 6 PatientInnen häufigsten diagnostiziert wurde (54,5%). Typ A und E3 trat bei jeweils 2 PatientInnen auf (18,2%) und ein Patient / eine Patientin wies Typ C auf (9,1%) (Abbildung 20).

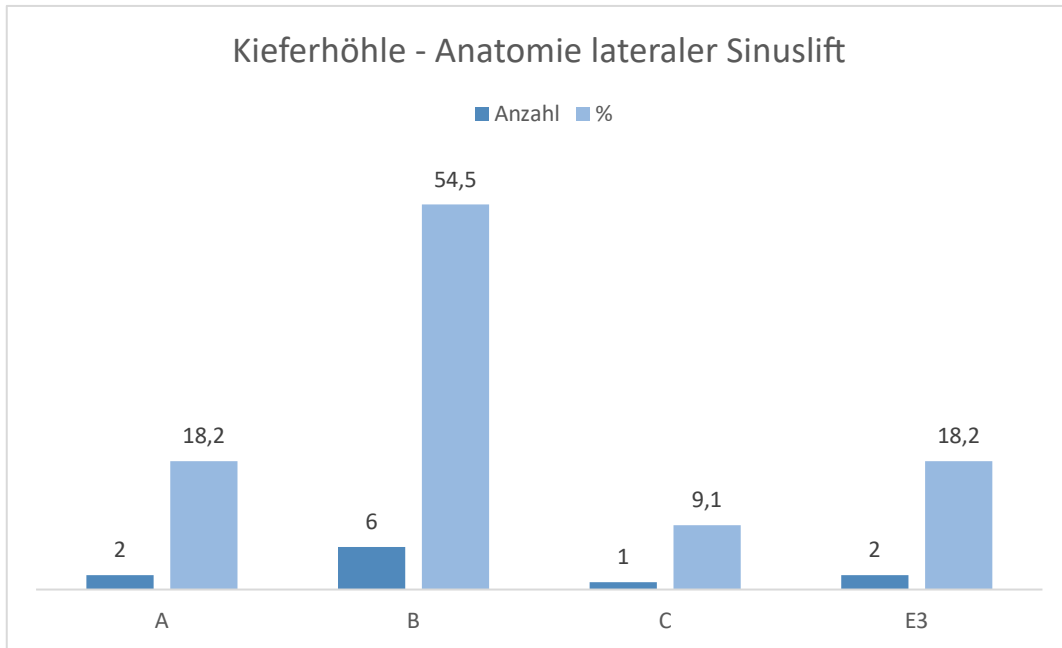


Abbildung 20: anatomische Gegebenheiten lateraler Sinuslift

Die radiologische Auswertung beim krestalen Sinuslift kam zu einem ähnlichen Ergebnis (Abbildung 21).

Auch hier ist der Kieferhöhlen – Typ B mit 6 PatientInnen (60%) am häufigsten vertreten. Der Typ E3 wurde bei 2 PatientInnen diagnostiziert (20%). Die Typen A und C traten bei je einer Patientin bzw. Patienten auf (je 10%).

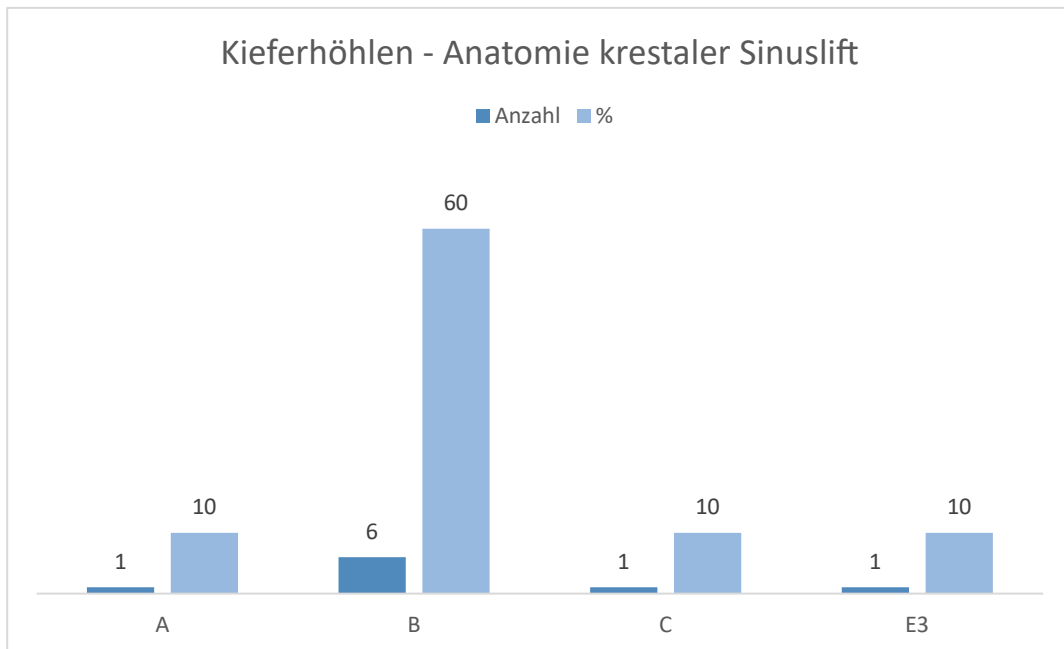


Abbildung 21: anatomische Gegebenheiten krestaler Sinuslift

Die Kieferhöhlen - Anatomie des Typen E3 bezeichnet das Vorhandensein von Underwood Septen, welche bei insgesamt 3 PatientInnen auftraten (28,2%).

Betrachtet man die Kieferhöhlenanatomie im Zusammenhang mit dem augmentierten Knochen, ergibt sich beim lateralen Sinuslift die größte Knochenhöhe mit 12,1 mm bei Typ C. Beim Typ E3 ist die Knochenhöhe im Mittel 11,5 mm, bei Typ A 10,6 mm und bei Typ B 10 mm (Abbildung 22).

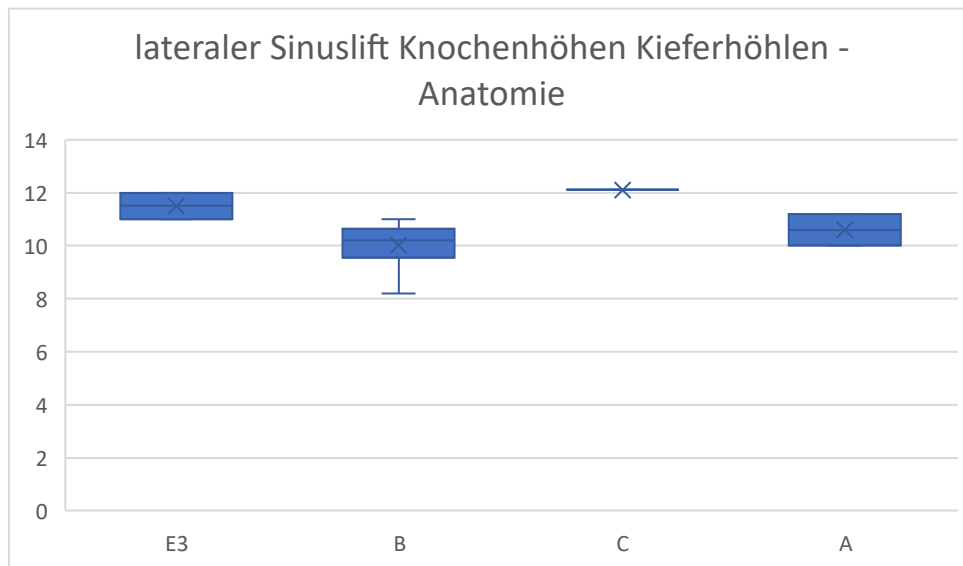


Abbildung 22: Knochenaufbau im Zusammenhang mit der Kieferhöhlen - Anatomie, lateraler Sinuslift

Beim krestalen Sinuslift zeigt sich beim Kieferhöhlen Typ B mit 10,5 mm im Mittel die größte augmentierte Knochenhöhe. Bei den Typen A und B sind es Knochenhöhen von 10,4 mm und beim Typ 9,7 mm im Mittel (Abbildung 23).

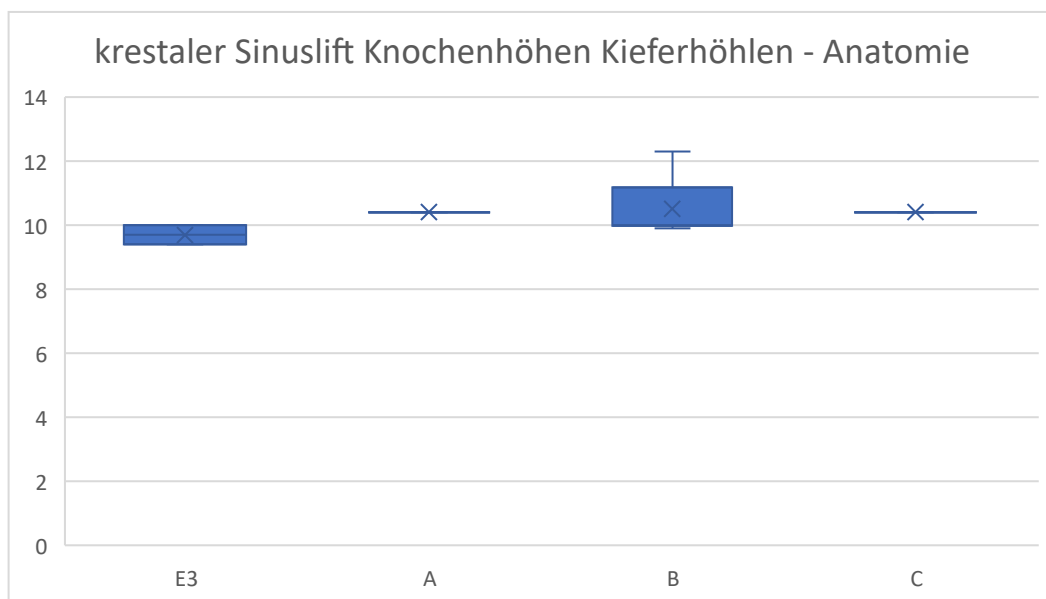


Abbildung 23: Knochenaufbau im Zusammenhang mit der Kieferhöhlen - Anatomie, krestaler Sinuslift

9.3.2 Kieferhöhlenschleimhaut

Präoperativ zeigte sich die Kieferhöhlenschleimhaut beim lateralen Sinuslift bei 10 PatientInnen bland (90,9%), eine Patientin bzw. ein Patient wies eine Verschattung auf (9,1%). Postoperativ präsentierte sich bei 2 PatientInnen eine Verschattung (18,2%), 8 besaßen blande Verhältnisse (81,8%). Die Schleimhaut der PatientInnen, die einen krestalen Sinuslift erhielten, zeigte sich prä- sowie postoperativ bei 8 PatientInnen bland (80%) und bei 2 PatientInnen mit einer Verschattung (20%) (Tabelle 3).

Gruppe	KH-Schleimhaut prä - OP	Anzahl	%
externer Sinuslift	bland	10	90,9
	verschattet	1	9,1
interner Sinuslift	bland	8	80
	verschattet	2	20

Gruppe	KH-Schleimhaut post - OP	Anzahl	%
externer Sinuslift	bland	9	81,8
	verschattet	2	18,2
interner Sinuslift	bland	8	80
	verschattet	2	20

Tabelle 3: Kieferhöhlenschleimhaut

9.0 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, einen Vergleich der beiden Methoden zur Anhebung der Schneider'schen Membran mit anschließender Sinusaugmentation nach 5 - 10 Jahren zu erstellen. Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit zeigen, wie in Abbildung 15 ersichtlich, bei der lateralen Methode einen Knochenaufbau von 7,24 mm (+/- 1,33) und eine gesamte Knochenhöhe von 10,58 mm (+/- 1,09) im Mittel. Beim krestalen Sinuslift (Abbildung 16) betrug die Knochenaugmentation 5,74 mm (+/- 1,96) und die gesamte Knochenhöhe 10,32 mm (+/- 0,79) im Mittel.

In Abbildung 17 lässt sich, unabhängig von der Technik der Sinusbodenaugmentation, eine apikale Knochenüberdeckung der Implantate mit 0,6 mm bzw. 0,32 mm erkennen. Dies erklärt sich dadurch, dass beim lateralen Sinuslift die Augmentation unter Sicht erfolgt. Bei der krestalen Methode wird die Membran über den Bohrstollen und dadurch geringer als bei der lateralen Methode, abgehoben. Dadurch verringert sich auch die Menge an eingebrachten Knochenersatzmaterial.

In einer Studie von 2012 verglich U. S. Pal. et. al beide Sinuslift Methoden miteinander. Es wurden 20 PatientInnen mit unzureichender Alveolarkammhöhe im Oberkiefer Seitenzahnbereich randomisiert in 2 Gruppen aufgeteilt. Gruppe A erhielt einen lateralen Sinuslift, Gruppe B einen krestalen Sinuslift mittels Summer's Methode. Zur Knochenaugmentation wurde ein xenogenes Ersatzmaterial (BioOss®) verwendet. 12 Wochen post. OP wurde eine Panoramaröntgen – Aufnahme erstellt. Er kam zum Ergebnis, dass der Unterschied der lateralen Methode mit einem durchschnittlichen Knochenaufbau von 8,5 mm und der krestalen Methode mit einem durchschnittlichen Aufbau von 4,4 mm deutlich statistisch signifikant war (Pal et al., 2012).

Wie in den Ergebnissen dieser Studie ersichtlich, wurde auch hier ein statistisch signifikanter Unterschied des augmentierten Knochens festgestellt. Jedoch wurden in der Studie von U. S. Pal. et. al die Kontrollröntgenaufnahmen nach einer kurzen post. operativen Zeit angefertigt. Daher lässt sich hier kein Rückschluss auf die langfristigen Knochenhöhen ziehen.

Lutz et al. veröffentlichten im Jahr 2014 eine Studie, bei der 47 ProbandInnen eine laterale Sinusbodenelevation mit einem autogenen oder einem xenogenen Ersatzmaterial erhielten. In der ersten Gruppe, in jener ein autogener Knochenblock als Knochenersatzmaterial eingesetzt wurde, wurden bei 23 ProbandInnen 70 Implantate gesetzt. In der zweiten Gruppe wurde ein xenogenes Knochenersatzmaterial (BioOss®) verwendet, hier erhielten 24

ProbandInnen 98 Implantate. Die präoperative Restknochenhöhe betrug im Mittel 3,4 mm bei der ersten Gruppe und 2,7 mm in der zweiten. Die augmentierte Höhe zum Zeitpunkt der Implantatinsertion lag im Durchschnitt in der ersten Gruppe bei 13 mm und in der zweiten Gruppe bei 12,4 mm. Verglichen mit dieser Studie zeigt sich beim lateralen Sinuslift ein ähnlicher Wert der augmentierten Knochenhöhe unter Verwendung von BioOss® als Knochenersatzmaterial. Bei den radiologischen Untersuchungen mittels Panoramaröntgenaufnahme nach 5 Jahren wurde festgestellt, dass in der Gruppe, in der ein autologer Knochenblock transplantiert wurde, bei 43,5% der Teilnehmerinnen und Teilnehmer keine Resorption stattfand. Bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die ein xenogenes Ersatzmaterial erhielten, zeigte sich bei 50% keine Resorption des augmentierten Bereiches. Eine Resorption um 25% fand bei 47,8% der ProbandInnen der autologen Gruppe und bei 45,8% der xenogenen Gruppe statt. Lediglich bei 8,7% der autologen Transplantaten und 4,2% der xenogenen Transplantate war eine Resorptionsrate von 50% zu verzeichnen. Die Überlebensrate der Implantate zeigte sich mit 95,8% 5 Jahre nach Insertion. Dadurch zeigt sich, dass eine Augmentation mit einem xenogenen Knochenersatzmaterial wie BioOss® sich langfristig als sichere und stabile Methode erweist (Lutz et al., 2015). Auch weitere Studien decken sich mit den Ergebnissen dieser Studie und zeigen, dass die verschiedenen Augmentationsmaterialien wie BioOss® oder Aligipore® die bei Sinusbodenaugmentationen verwendet werden vorhersehbar und klinisch erfolgreich sind (Hürzeler et al., 1997) (Block et al., 1998) (Lorenzoni et al., 2000) (Kirmeier et al., 2008) (Rapone et al., 2022) (Galindo-Moreno et al., 2022).

In einer Studie von 2013 untersuchten Sbordone, Toti et al. die Volumenveränderungen und Dichte des autogenen Knochentransplantates beim Sinuslift nach 6 Jahren untersucht. Untersucht wurden 32 PatientInnen, die eine laterale Sinusbodenaugmentation mit einem autogenen Knochentransplantat, welches als Granulat oder in Form eines Blockes augmentiert wurde, erhielten. Die Studie ergab, dass es keine signifikanten statistischen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gab, jedoch zeigten sich die beiden Augmentationsverfahren in ihren Verhaltensweisen unterschiedlich. Nach 72 Monaten betrug die Resorption des Granulates ca. 39% und der Block ca. 21%. Hier zeigt sich, dass bei einer Sinusbodenelevation mit anschließender Augmentation ein langfristig stabiles Ergebnis zu erwarten ist (Sbordone et al., 2013).

In einer retrospektiven Studie verglichen Kim, Lee et al. die Knochenresorption um das Implantat 1 Jahr nach Durchführung des krestalen Sinuslift. Hierbei wurde in erster Linie

der Unterschied der Knochenresorption zwischen einem autologen und einem synthetischen Knochenersatzmaterial verglichen. Die Studie beinhaltete 34 PatientInnen, bei der das Sinus Crestal Approach Kit (Neobiotech) angewendet wurde. In Gruppe I, welche ein autologes Transplantat erhielten, betrug die präoperative Restknochenhöhe im Minimum 6,32 mm und im Maximum 12,10 mm. Die Höhe, um die die Membran angehoben wurde, betrug im Minimum 2,42 bis 8,15 mm im Maximum. Nach einem Jahr zeigte ein Panoramakontrollröntgen eine Knochenresorption von durchschnittlich 0,76 mm im Bereich des Knochentransplantates. Gruppe II, die einen Knochenaufbau mit einem synthetischen Material (Osteon) erhielt, wies eine präoperative Restknochenhöhe von 6,04 mm bis 11,33 mm auf. Der durch den krestalen Sinuslift angehobene Anteil war hier mit einem Minimum von 3,19 mm und einem Maximum von 9,32 mm vertreten. Die Knochenresorption im Panoramaröntgen 1 Jahr nach operativem Eingriff trat mit einem Durchschnittswert von 0,52 mm auf. Die Studie zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Knochenersatzmaterialien gab. Auch hier zeigt sich mit dem operativen Verfahren ein langfristig stabiles Ergebnis (Kim et al., 2014).

Da hier Panoramaröntgen vermessen wurden und in diesen keine 1:1 Vermessung wie in einer DVT – Aufnahme möglich ist, sind diese exakten Messergebnisse anzuzweifeln.

Auch Gopal analysierte im Zuge einer erst kürzlich erschienenen Studie den krestalen Sinuslift mithilfe des Sinus Crest Approach Kit (Neobiotech), simultaner Implantation und PFR als Knochenersatzmaterial. Durchgeführt wurde sie an 15 PatientInnen, die eine prothetische Versorgung mittels Implantat mit simultanen Sinuslift im Oberkiefer Seitenzahn benötigten. Im Durchschnitt ergab sich eine präoperative Knochenhöhe mit 6,35 mm, die postoperative Knochenhöhe betrug nach 6 Monaten im Mittel 11,44 mm. Nach einem Jahr wurde diese erneut gemessen, hier wurde sie erneut mit 11,44 mm angegeben. Als Füllmaterial für den freigewordenen Raum zwischen Schneider'scher Membran und Kieferkamm wurde eine PRF – Membran verwendet. Diese fungierte hier als Stützgewebe, welches eine Bildung des Blutkoagels zur anschließenden knöchernen Regeneration des Implanates dient (Gopal, 2022).

Wie sich die Kieferhöhlen – Anatomie auf die aufgebaute Knochenhöhe auswirkt, zeigen Abbildung 20 und 21. Anhand der Ergebnisse lässt sich erkennen, dass beim lateralen Sinuslift beim Typ C und beim krestalen Sinuslift beim Typ B die größte Augmentation erfolgte. Die anatomische Form der Kieferhöhle des Typs C unterstützt formbedingt die Einbringung des Knochenersatzmaterials unter Sicht. Es konnte aufgrund der geringen

Patientenanzahl in dieser Diplomarbeit keine aussagekräftigen Ergebnisse über den Zusammenhang der Kieferhöhlen – Anatomie und dem aufgebauten Knochen erzielt werden (Abbildungen 22 und 23).

Eine 2022 erschiene Studie untersuchte Zheng et al. den Einfluss anatomischer Faktoren der Kieferhöhle im Zusammenhang mit einer transkrestalen Sinusbodenelevation. 45 PatientInnen mit 63 Elevationsstellen wurden in die Studie aufgenommen. Präoperativ wurden CBCT-Aufnahmen untersucht, um die anatomischen Merkmale wie die Restknochenhöhe, Kieferhöhlenbreite, Sinuswinkel und Dicke der Schneider'schen Membran zu messen. Diese Aufnahmen wurden 6 Monate post-operativ erneut erstellt. Als Transplantatmaterial wurde eine Kombination aus einem xenogenen Material (Bio-Oss®) und autogenem Knochen verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Sinus, bei dem ein großer Abstand und Winkel zwischen medialer und lateraler Wand bestand, mehr Resorption des Knochentransplantates auftrat (Zheng et al., 2022).

2019 beschrieben Marin et. al den Zusammenhang zwischen den anatomischen Gegebenheiten der Kieferhöhle und der Membran-Perforation. Sie analysierten im Zeitraum von 2013 bis 2017 an der Medizinischen Universität Graz 121 PatientInnen und kamen zum Ergebnis, dass die am häufigsten auftretenden Kieferhöhlenkonturen spitz zulaufend (57 Fälle) und eiförmig (36 Fälle) waren. Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie, hier traten die spitz zulaufende Kieferhöhlenkontur am häufigsten auf. Bei schmal-konischen Sinuskonturen verzeichneten sie die häufigste Membran-Perforation (bei 9 von 16 Patientinnen und Patienten). Ebenso eruierten sie auch die Beziehung zwischen der Dicke der Schneider'schen Membran und einer Perforation. Bei eher dünnen Membranen mit 0 - 1 mm wurden sie am häufigsten dokumentiert (47,4%), wohingegen sie bei 1 - 2mm (21,1%) und 2-3 mm (15,8%) deutlich abnehmen.

Das Vorhandensein von Septen (Unterwood Septen) im Operationsgebiet zeigte keine Korrelation mit einer Membran-Perforation (Marin et al., 2019).

Als Alternative zum Sinuslift mittels Summer's Technik mit anschließender Sinusbodenaugmentation gibt es die Variante des krestalen Sinuslift, ohne eine anschließende Knochenaugmentation durchzuführen. Es wurden bei einer retrospektiven Studie die klinischen Daten von 96 Implantaten bei 80 PatientInnen nach einem Beobachtungszeitraum von 4 bis 9 Jahren analysiert. Es schlugen 9 Implantate bei 7 PatientInnen fehl, dadurch ergibt sich nach 9 Jahren eine Implantat-Überlebensrate von

90,6%. Der durchschnittliche Knochenzuwachs im Sinus betrug $2,95 \pm 1,25$. Der endgültige Knochenzuwachs im Sinus zeigte sich positiv korrelierend mit der Implantatlänge. Betrug die Restknochenhöhe präoperativ <5 mm, ergab sich eine signifikant niedrigere Implantat-Überlebensrate. Dies zeigt, dass eine Sinuslift ohne Knochenersatzmaterial als eine mögliche Behandlungsmethode gilt, aber bei einem reduziertem präoperativen Alveolarknochen (<5 mm) Vorsicht geboten ist (Si et al., 2016).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Duan, Fu et al. der 2017 eine systemische Literaturrecherche zu diesem Thema durchführte. Diese inkludierte 22 klinische Studien mit insgesamt 864 Implantaten, die mit einem Sinuslift, aber ohne den Einsatz von Knochenersatzmaterial gesetzt wurden. Die mittlere Restknochenhöhe betrug hier $5,7 \pm 1,7$. Die Implantat - Überlebensrate betrug hier $97,7\% \pm 0,02\%$. Auch er beschreibt diese Methode als sicher aber mit einer genauen Indikationsstellung (Duan et al., 2017).

Weiters ist es möglich, um eine Kieferhöhlenaugmentation zu vermeiden, kurze Implantate zu setzen. Kurze Implantate reduzieren die Gesamtkosten für die Patientinnen und Patienten, den chirurgischen Aufwand und senken die Morbidität. Jedoch müssen hier Parameter wie das Kronen – Implantat Verhältnis (C/I) und parodontale Verhältnisse mitbedacht werden. Bei einem Kronen - Implantat Verhältnis von mehr als 2 gibt es eine ca. 94%ige Implantat-Überlebensrate. Bei niedrigem C/I Verhältnis (<1) wurde ein Verlust des krestalen Knochens festgestellt (Blanes, 2009).

In einer aktuellen Studie wurde ein 5 Jahres Vergleich in Bezug auf die Implantatüberlebensrate nach einer Sinusbodenaugmentation oder der Verwendung von kurzen Implantaten (<7 mm) analysiert. Hier kam man zum Ergebnis, dass die Implantate, die mit einer Sinusbodenaugmentation inseriert wurden, eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit aufweisen (Mester et al., 2023).

Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Methoden zur Sinusbodenaugmentation vorgeschlagen, die sich hinsichtlich des operativen Verfahrens, den Ort der Knochenentnahme, des Transplantatmaterials, des zeitlichen Abstand zwischen Sinusbodenelevation und Implantation, der Anwendung von resorbierbaren oder nicht resorbierbaren Membranen sowie den Umfang der Anhebung der Sinusmembran unterscheiden. Was jedoch alle neuen Verfahren zeigen, ist, dass das Verfahren zur Sinusbodenaugmentation noch nicht bis zur Perfektion ausgereift ist. Dies bedeutet, dass es nicht nur ein einziges richtiges Vorgehen gibt. Das Verfahren und die Technik muss auf die

jeweilige klinische Situation sowie die Bedürfnisse und Besonderheiten der Patientinnen und Patienten angepasst sein (Testori, del Fabbro et al., 2019).

Die 3 - 5 Jahres Implantat Überlebensrate zeigt in vielen Studien mehr als 95% nach Anwendung einer Sinusbodenaugmentation (Starch-Jensen et al., 2018) (Duan et al., 2017) (Tan et al., 2008) (Pjetursson et al., 2008) (Shah, Chauhan & Shah, 2022).

Das autologe Knochentransplantat gilt nach wie vor als Standard, beim Knochenersatzmaterial zeigt Bio Oss® als xenogenes Material mit seiner Resorptionsstabilität die besten Ergebnisse (Lutz et al., 2015) (Kirmeier et al., 2008) (Rapone et al., 2022).

9.1. Limitationen der Studie

Als Limitation dieser Studie ist definitiv die geringe Patientenzahl / Anzahl der durchgeführten Sinusbodenaugmentationen, die untersucht wurden, anzusehen.

Damit die Studie eine Aussagekraft aufweisen kann, mussten einschränkende Bedingungen (siehe Kapitel 8.4) gesetzt werden. Dieser Umstand führte zu dieser geringen Anzahl an analysierbaren Daten.

10.0 Schlussfolgerung

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass beide Methoden zur Sinusbodenaugmentation sichere Verfahren sind, um langfristig ein stabiles Knochenlager um den Apex des Implantates zu gewährleisten.

Bei der lateralen Methode ist aufgrund der Arbeit unter Sicht ein höherer Knochenaufbau möglich als bei der krestalen. Die konnte in dieser Studie, als auch in Vergleichsstudien nachgewiesen werden. Auch kann die am häufigsten auftretende Komplikation, die Perforation der Schneider'schen Membran unter Sicht behoben werden.

Das xenogene Knochenersatzmaterial gewährleistet ein sicheres Verfahren zur Sinusbodenaugmentation, dennoch, wie in verschiedenen Studien ersichtlich, führt auch der Knochenaufbau des Sinus Maxillaris mittels autologen und allogenen Ersatzmaterialien zu den gewünschten Ergebnissen.

Die Schwächen dieser Studie zeigen sich in der Patientenrekrutierung sowie der Anzahl der PatientInnen. Da die Daten retrospektiv erhoben wurden und aus einer niedergelassenen Ordination stammen, konnte die Teilnehmerauswahl nicht genauer spezifiziert werden. Dies hätte zu einer weiteren Reduktion der Teilnehmeranzahl geführt.

Um einen aussagekräftigeren Unterschied der beiden Augmentationsverfahren zu ermitteln, bedarf es weiterer Studien mit entsprechend höheren Fallzahlen.

Literaturverzeichnis

- Abubaker, A.O. 1999, "Applied anatomy of the maxillary sinus", *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, vol. 11, no. 1, pp. 1-13.
- Aimetti, M., Romagnoli, R., Ricci, G. & Massei, G. 2001, "Maxillary sinus elevation: the effect of macrolacerations and microlacerations of the sinus membrane as determined by endoscopy.", *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, vol. 21, no. 6.
- Almeida, F., Colio, A.R., Bueno-deVicete, A., de Leyva, P. & Sanz, J.A. 2023, "Success rate with dental implants in 628 maxillary sinus lift with biomaterial in severe maxillary atrophy. Our experience.", *International journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 52, pp. 8.
- Al-Moraissi, E.A., Altairi, N.H., Abotaleb, B., Al-Iryani, G., Halboub, E. & Alakhali, M.S. 2019, "What is the most effective rehabilitation method for posterior maxillas with 4 to 8 mm of residual alveolar bone height below the maxillary sinus with implant-supported prostheses? A frequentist network meta-analysis", *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 77, no. 1, pp. 70. e1-70. e33.
- Al-Nawas, B., Gellrich, N.C., Klein, M.O., Palm, F., Rothamel, D., Schlee, M., Schultze-Mosgau, S., Schwarz, F. & Sommer, M. 2012, "Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien (S2k)", .
- An, J., Park, S., Han, J.J., Jung, S., Kook, M., Park, H. & Oh, H. 2017, "Treatment of dental implant displacement into the maxillary sinus", *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 39, pp. 1-5.
- Ardekian, L., Oved-Peleg, E., Mactei, E.E. & Peled, M. 2006, "The clinical significance of sinus membrane perforation during augmentation of the maxillary sinus", *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 64, no. 2, pp. 277-282.
- Barbu, H.M., Andreescu, C.F., Comaneanu, M.R., Referendaru, D. & Mijiritsky, E. 2018, "Maxillary sinus floor augmentation to enable one-stage implant placement by using bovine bone substitute and platelet-rich fibrin", *BioMed research international*, vol. 2018.
- Barbu, H.M., Iancu, S.A., Jarjour Mirea, I., Mignogna, M.D., Samet, N. & Calvo-Guirado, J.L. 2019, "Management of Schneiderian membrane perforations during sinus augmentation procedures: a preliminary comparison of two different approaches", *Journal of clinical medicine*, vol. 8, no. 9, pp. 1491.
- Becker, J., Al-Nawas, B., Klein, M.O., Schliephake, H., Terheyden, H. & Schwarz, F. 2009, "Use of a new cross-linked collagen membrane for the treatment of dehiscence-type defects at titanium implants: a prospective, randomized-controlled double-blinded clinical multicenter study", *Clinical oral implants research*, vol. 20, no. 7, pp. 742-749.

- Better, H., Slavescu, D., Barbu, H., Cochran, D.L. & Chaushu, G. 2014, "Minimally invasive sinus lift implant device: a multicenter safety and efficacy trial preliminary results", *Clinical implant dentistry and related research*, vol. 16, no. 4, pp. 520-526.
- Blanes, R.J. 2009, "To what extent does the crown–implant ratio affect the survival and complications of implant-supported reconstructions? A systematic review", *Clinical oral implants research*, vol. 20, pp. 67-72.
- Block, M.S., Kent, J.N., Kallukaran, F.U., Thunthy, K. & Weinberg, R. 1998, "Bone maintenance 5 to 10 years after sinus grafting", *Journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 56, no. 6, pp. 706-714.
- Borie, E., Oliví, D.G., Orsi, I.A., Garlet, K., Weber, B., Beltrán, V. & Fuentes, R. 2015, "Platelet-rich fibrin application in dentistry: a literature review", *International journal of clinical and experimental medicine*, vol. 8, no. 5, pp. 7922.
- Boyne, P.J. 1965, "Lectures to postgraduate course", *US Navy Dental School, National Naval Medical Center, Bethesda, MD*, vol. 1968.
- Boyne, P.J. 1980, "Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone", *J.Oral Surg.*, vol. 38, pp. 613-616.
- Bruschi, G.B., Scipioni, A., Calesini, G. & Bruschi, E. 1998, "Localized Management of Sinus Floor With Simultaneous Implant Placement: A Clinical Report.", *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol. 13, no. 2.
- Cannizzaro, G., Felice, P., Minciarelli, A.F., Leone, M., Viola, P. & Esposito, M. 2013, "Early implant loading in the atrophic posterior maxilla: 1-stage lateral versus crestal sinus lift and 8 mm hydroxyapatite-coated implants. A 5-year randomised controlled trial", *Eur J Oral Implantol*, vol. 6, no. 1, pp. 13-25.
- Cawood, J.I. & Howell, R. 1988, "A classification of the edentulous jaws", *International journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 17, no. 4, pp. 232-236.
- Chiapasco, M. & Rossi, A. 2006, "Cirugía preimplantar en las atrofas de los maxilares", *Rehabilitación implanto-soportada en casos complejos.Amolca: Caracas*, , pp. 131-162.
- Cho, Y., Hwang, K., Jun, S.H., Tallarico, M., Kwon, A.M. & Park, C. 2020, "Radiologic comparative analysis between saline and platelet-rich fibrin filling after hydraulic transcresal sinus lifting without adjunctive bone graft: A randomized controlled trial", *Clinical oral implants research*, vol. 31, no. 11, pp. 1087-1093.
- Cosci, F. & Luccioli, M. 2000, "A new sinus lift technique in conjunction with placement of 265 implants: a 6-year retrospective study", *Implant dentistry*, vol. 9, no. 4, pp. 363-368.
- Danesh-Sani, S., Engebretson, S.P. & Janal, M. 2017, "Histomorphometric results of different grafting materials and effect of healing time on bone maturation after sinus floor augmentation: a systematic review and meta-analysis", *Journal of periodontal research*, vol. 52, no. 3, pp. 301-312.

- Dau, M. & Kämmerer, P.W. 2017, "Kurze Implantate vs. Augmentation", *der junge zahnarzt*, vol. 8, no. 2, pp. 14-24.
- Davó, R. & de Val, J.E. 2021, "The quad zygoma approach for immediate rehabilitation of severe maxillary atrophy", *Clinical Dentistry Reviewed*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12.
- Duan, D., Fu, J., Qi, W., Du, Y., Pan, J. & Wang, H. 2017, "Graft-free maxillary sinus floor elevation: A systematic review and meta-analysis", *Journal of periodontology*, vol. 88, no. 6, pp. 550-564.
- Faot, F., Deprez, S., Vandamme, K., Camargos, G.V., Pinto, N., Wouters, J., van den Oord, J., Quirynen, M. & Duyck, J. 2017, "The effect of L-PRF membranes on bone healing in rabbit tibiae bone defects: micro-CT and biomarker results", *Scientific reports*, vol. 7, no. 1, pp. 1-10.
- Fugazzotto, P.A. 2001, "The modified trephine/osteotome sinus augmentation technique: technical considerations and discussion of indications", *Implant dentistry*, vol. 10, no. 4, pp. 259-264.
- Galindo-Moreno, P., Abril-García, D., Carrillo-Galvez, A.B., Zurita, F., Martín-Morales, N., O'Valle, F. & Padiál-Molina, M. 2022, "Maxillary sinus floor augmentation comparing bovine versus porcine bone xenografts mixed with autogenous bone graft. A split-mouth randomized controlled trial", *Clinical oral implants research*, vol. 33, no. 5, pp. 524-536.
- Garg, A.K. 1999, "Augmentation grafting of the maxillary sinus for placement of dental implants: anatomy, physiology, and procedures", *Implant dentistry*, vol. 8, no. 1, pp. 36-48.
- Ghanaati, S., Herrera-Vizcaino, C., Al-Maawi, S., Lorenz, J., Miron, R.J., Nelson, K., Schwarz, F., Choukroun, J. & Sader, R. 2018, "Fifteen years of platelet rich fibrin in dentistry and oromaxillofacial surgery: how high is the level of scientific evidence?", *Journal of Oral Implantology*, vol. 44, no. 6, pp. 471-492.
- Gutwald, R., Gellrich, N. & Schmelzeisen, R. 2018, *Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie 3. A*. Deutscher Zahnärzte Verlag.
- Harris, D., Horner, K., Gröndahl, K., Jacobs, R., Helmrot, E., Benic, G.I., Bornstein, M.M., Dawood, A. & Quirynen, M. 2012, "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", *Clinical oral implants research*, vol. 23, no. 11, pp. 1243-1253.
- Hartmann, M. 2009, *Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie: licht-und elektronenmikroskopischer Bildatlas; [inkl. Übungs-CD]*, facultas. wuv/maudrich.
- Hürzeler, M.B., Quiñones, C.R., Kirsch, A., Gloker, C., Schüpbachs, P., Strub, J.R. & Caffesse, R.G. 1997, "Maxillary sinus augmentation using different grafting materials and dental implants in monkeys", *Clinical oral implants research*, vol. 8, no. 6, pp. 476-486.

- Isaksson, S., Ekfeldt, A., Alberius, P. & Blomqvist, J. 1993, "Early results from reconstruction of severely atrophic (Class VI) maxillas by immediate endosseous implants in conjunction with bone grafting and Le Fort I osteotomy", *International journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 22, no. 3, pp. 144-148.
- Jamcoski, V.H., Faot, F., Marcello-Machado, R.M., Melo, A.C.M. & Fontão, F.N.G.K. 2023, "15-Year Retrospective Study on the Success Rate of Maxillary Sinus Augmentation and Implants: Influence of Bone Substitute Type, Presurgical Bone Height, and Membrane Perforation during Sinus Lift", *BioMed Research International*, vol. 2023.
- Jordi, C., Mukaddam, K., Lambrecht, J.T. & Köhl, S. 2018, "Membrane perforation rate in lateral maxillary sinus floor augmentation using conventional rotating instruments and piezoelectric device—a meta-analysis", *International journal of implant dentistry*, vol. 4, no. 1, pp. 1-9.
- Kao, D.W. 2014, *Clinical maxillary sinus elevation surgery*, John Wiley & Sons.
- Karthik Sivaraman 2021, *Overview of sinus floor elevation procedure in implant dentistry – Part 2*.
- Kim, Y., Lee, J., Yun, J., Yun, P. & Um, I. 2014, "Comparison of autogenous tooth bone graft and synthetic bone graft materials used for bone resorption around implants after crestal approach sinus lifting: a retrospective study", *Journal of periodontal & implant science*, vol. 44, no. 5, pp. 216-221.
- Kirmeier, R., Payer, M., Wehrsuetz, M., Jakse, N., Platzer, S. & Lorenzoni, M. 2008, "Evaluation of three-dimensional changes after sinus floor augmentation with different grafting materials", *Clinical oral implants research*, vol. 19, no. 4, pp. 366-372.
- Klein, M.O. & Al-Nawas, B. 2011, "Eigenschaften und Einsatzgebiete von Knochenersatzmaterialien", *wissen kompakt*, vol. 5, no. 1, pp. 33-39.
- Larjava, H. 2012, *Oral wound healing: cell biology and clinical management*, John Wiley & Sons.
- Libersa, C. 1981, "The pneumatization of the accessory cavities of the nasal fossae during growth.", *Anat Clin*, vol. 2, pp. 265-273.
- Lorenzoni, M., Pertl, C., Wegscheider, W., Keil, C., Penkner, K., Polansky, R. & Bratschko, R.O. 2000, "Retrospective analysis of Frialit-2 implants in the augmented sinus.", *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, vol. 20, no. 3.
- Lumbau, A.I., Meloni, S.M., Tallarico, M., Melis, L., Spano, G., Baldoni, E., Koshovari, A. & Pisano, M. 2021, "Implant Placement Following Crestal Sinus Lift with Sequential Drills and Osteotomes: Five Years after Final Loading Results from a Retrospective Study", *Journal of Functional Biomaterials*, vol. 12, no. 1, pp. 10.
- Lundgren, S., Cricchio, G., Hallman, M., Jungner, M., Rasmusson, L. & Sennerby, L. 2017, "Sinus floor elevation procedures to enable implant placement and integration:

- techniques, biological aspects and clinical outcomes", *Periodontology 2000*, vol. 73, no. 1, pp. 103-120.
- Lutz, R., Berger-Fink, S., Stockmann, P., Neukam, F.W. & Schlegel, K.A. 2015, "Sinus floor augmentation with autogenous bone vs. a bovine-derived xenograft—a 5-year retrospective study", *Clinical oral implants research*, vol. 26, no. 6, pp. 644-648.
- Marin, S., Kirnbauer, B., Rugani, P., Payer, M. & Jakse, N. 2019, "Potential risk factors for maxillary sinus membrane perforation and treatment outcome analysis", *Clinical implant dentistry and related research*, vol. 21, no. 1, pp. 66-72.
- Markus Tröltzsch, Peer W. Kämmerer, Andreas Pabst, Matthias Tröltzsch, Philipp Kauffmann, Eik Schiegnitz, Phillipp Brockmeyer & Bilal Al-Nawas 2020, *S2k - Leitlinie Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien*.
- McGowan, D.A., Baxter, P.W. & James, J.A. 1993, *The maxillary sinus and its dental implications*, John Wright.
- Mester, A., Onisor, F., Di Stasio, D., Piciu, A., Cosma, A. & Bran, S. 2023, "Short Implants versus Standard Implants and Sinus Floor Elevation in Atrophic Posterior Maxilla: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials with ≥ 5 Years' Follow-Up", *Journal of Personalized Medicine*, vol. 13, no. 2, pp. 169.
- Miron, R.J. & Choukroun, J. 2017, *Platelet rich fibrin in regenerative dentistry: biological background and clinical indications*, John Wiley & Sons.
- Niu, L., Wang, J., Yu, H. & Qiu, L. 2018, "New classification of maxillary sinus contours and its relation to sinus floor elevation surgery", *Clinical implant dentistry and related research*, vol. 20, no. 4, pp. 493-500.
- Nkenke, E., Schlegel, A., Schultze-Mosgau, S., Neukam, F.W. & Wiltfang, J. 2002, "The endoscopically controlled osteotome sinus floor elevation: a preliminary prospective study.", *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol. 17, no. 4.
- Okano, T., Harata, Y., Sugihara, Y., Sakaino, R., Tsuchida, R., Iwai, K., Seki, K. & Araki, K. 2009, "Absorbed and effective doses from cone beam volumetric imaging for implant planning", *Dentomaxillofacial Radiology*, vol. 38, no. 2, pp. 79-85.
- Ozaki, W. & Buchman, S.R. 1998, "Volume maintenance of onlay bone grafts in the craniofacial skeleton: micro-architecture versus embryologic origin.", *Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 102, no. 2, pp. 291-299.
- Pal, U.S., Sharma, N.K., Singh, R.K., Mahammad, S., Mehrotra, D., Singh, N. & Mandhyan, D. 2012, "Direct vs. indirect sinus lift procedure: A comparison", *National journal of maxillofacial surgery*, vol. 3, no. 1, pp. 31.
- Pardal-Peláez, B., Córdoba-Llorente, J.R. & Belarra-Arenas, C. 2020, "Sinus lift through the use of a surgical guide: a case report Sinusbodenaugmentation unter Verwendung einer Operationsschablone: ein Fallbericht", *International journal of computerized dentistry*, vol. 23, no. 4, pp. 377-386.

- Pjetursson, B.E., Tan, W.C., Zwahlen, M. & Lang, N.P. 2008, "A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation: part I: lateral approach", *Journal of clinical periodontology*, vol. 35, pp. 216-240.
- Preusse, F.E., Preusse, F.A., Eymer, H. & Streckbein, P. 2012, "Sinuslift mit simultaner Implantation bei einem Restknochen angebot von unter 5 mm", .
- Rammelsberg, P., Kilian, S., Büsch, C. & Kappel, S. 2020, "The effect of transcresal sinus-floor elevation without graft on the long-term prognosis of maxillary implants", *Journal of clinical periodontology*, vol. 47, no. 5, pp. 640-648.
- Rapone, B., Inchingolo, A.D., Trasarti, S., Ferrara, E., Qorri, E., Mancini, A., Montemurro, N., Scarano, A., Inchingolo, A.M. & Dipalma, G. 2022, "Long-Term Outcomes of Implants Placed in Maxillary Sinus Floor Augmentation with Porous Fluorohydroxyapatite (Algipore® FRIOS®) in Comparison with Anorganic Bovine Bone (Bio-Oss®) and Platelet Rich Plasma (PRP): A Retrospective Study", *Journal of Clinical Medicine*, vol. 11, no. 9, pp. 2491.
- Rebaudi, A., Silvestrini, P. & Trisi, P. 2003, "Use of a Resorbable Hydroxyapatite--Collagen Chondroitin Sulfate Material on Immediate Postextraction Sites: A Clinical and Histologic Study.", *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, vol. 23, no. 4.
- Salgar, N. 2021, "Osseodensified crestal sinus window augmentation: an alternative procedure to the lateral window technique", *Journal of Oral Implantology*, vol. 47, no. 1, pp. 45-55.
- Sbordone, C., Toti, P., Guidetti, F., Califano, L., Bufo, P. & Sbordone, L. 2013, "Volume changes of autogenous bone after sinus lifting and grafting procedures: a 6-year computerized tomographic follow-up", *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, vol. 41, no. 3, pp. 235-241.
- Schaeffer, J.P. 1910, "The sinus maxillaris and its relations in the embryo, child, and adult man", *American Journal of Anatomy*, vol. 10, no. 1, pp. 313-368.
- Schimmel, M., Srinivasan, M., McKenna, G. & Müller, F. 2018, "Effect of advanced age and/or systemic medical conditions on dental implant survival: A systematic review and meta-analysis", *Clinical oral implants research*, vol. 29, pp. 311-330.
- Schlickewei, W. & Schlickewei, C. 2007, "The use of bone substitutes in the treatment of bone defects—the clinical view and history", *Macromolecular symposia* Wiley Online Library, , pp. 10.
- Schwenzer, N. & Ehrenfeld, M. 2019, *Zahnärztliche Chirurgie*, Georg Thieme Verlag.
- Scott, R.A. 2012, "No title", *ITI treatment guide, volume 5: sinus floor elevation procedures*, .
- Shah, D., Chauhan, C. & Shah, R. 2022, "Survival rate of dental implant placed using various maxillary sinus floor elevation techniques: A systematic review and meta-analysis", *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, vol. 22, no. 3, pp. 215-224.

- Si, M., Shou, Y., Shi, Y., Yang, G., Wang, H. & He, F. 2016, "Long-term outcomes of osteotome sinus floor elevation without bone grafts: A clinical retrospective study of 4–9 years", *Clinical oral implants research*, vol. 27, no. 11, pp. 1392-1400.
- Starch-Jensen, T., Aludden, H., Hallman, M., Dahlin, C., Christensen, A. & Mordenfeld, A. 2018, "A systematic review and meta-analysis of long-term studies (five or more years) assessing maxillary sinus floor augmentation", *International journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 47, no. 1, pp. 103-116.
- Summers, R.B. 1995, "The osteotome technique: Part 4--Future site development.", *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, vol. 16, no. 11, pp. 1090, 1092 passim; 1094-1096, 1098, quiz 1099.
- Summers, R.B. 1994, "A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique.", *Compendium (Newtown, Pa.)*, vol. 15, no. 2, pp. 152, 154-6, 158 passim; quiz 162.
- Tan, W.C., Lang, N.P., Zwahlen, M. & Pjetursson, B.E. 2008, "A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation Part II: transalveolar technique", *Journal of clinical periodontology*, vol. 35, pp. 241-254.
- Taschieri, S., Corbella, S., Saita, M., Tsesis, I. & Del Fabbro, M. 2012, "Osteotome-mediated sinus lift without grafting material: a review of literature and a technique proposal", *International Journal of Dentistry*, vol. 2012.
- Tatum Jr, H. 1986, "Maxillary and sinus implant reconstructions", *Dental clinics of North America*, vol. 30, no. 2, pp. 207-229.
- Terheyden, H. 2021, *Augmentationschirurgie: Biologische Grundlagen, Operationstechniken, Klinische Herausforderungen*, Quintessenz Verlag.
- Testori, T., del Fabbro, M., Weinstein, R. & Wallace, S. 2019, *Sinusbodenaugmentation: chirurgische Techniken und alternative Konzepte*, Quintessenz Verlag.
- Testori, T., Weinstein, T., Taschieri, S. & Wallace, S.S. 2019, "Risk factors in lateral window sinus elevation surgery", *Periodontology 2000*, vol. 81, no. 1, pp. 91-123.
- Timmenga, N.M., Raghoobar, G.M., Boering, G. & van Weissenbruch, R. 1997, "Maxillary sinus function after sinus lifts for the insertion of dental implants", *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 55, no. 9, pp. 936-939.
- Tolstunov, L., Hamrick, J.F.E., Broumand, V., Shilo, D. & Rachmiel, A. 2019, "Bone augmentation techniques for horizontal and vertical alveolar ridge deficiency in oral implantology", *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, vol. 31, no. 2, pp. 163-191.
- Vent-Mehnert, H. & Heussner, S. 2012, "Einsatzbereiche der dentalen Volumentomografie (DVT) in der Kieferorthopädie", *Zahnmedizin up2date*, vol. 6, no. 05, pp. 475-489.
- Vercellotti, T., Russo, C. & Gianotti, S. 2000, "A new piezoelectric ridge expansion technique in the lower arch—a case report", *World dent*, vol. 2003, no. 2, pp. 1-3.

- Vercellotti, T., De Paoli, S. & Nevins, M. 2001, "The piezoelectric bony window osteotomy and sinus membrane elevation: introduction of a new technique for simplification of the sinus augmentation procedure", *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*, vol. 21, no. 6, pp. 561-568.
- Wallace, S.S., Mazor, Z., Froum, S.J., Cho, S. & Tarnow, D.P. 2007, "Schneiderian membrane perforation rate during sinus elevation using piezosurgery: clinical results of 100 consecutive cases.", *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, vol. 27, no. 5.
- Wimalaratna, A. 2021, "Indirect Sinus Lift: An Overview of Different Techniques", *Biomed J Sci & Tech Res*, , pp. 26101-26104.
- Woo, I. & Le, B.T. 2004, "Maxillary sinus floor elevation: review of anatomy and two techniques", *Implant dentistry*, vol. 13, no. 1, pp. 28-32.
- Wood, R.M. & Moore, D.L. 1988, "Grafting of the maxillary sinus with intraorally harvested autogenous bone prior to implant placement.", *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol. 3, no. 3.
- Yamamichi, N., Itose, M. & Wang, H. 2019, *Sinusbodenaugmentation: Schwierigkeitsgrade, chirurgisches Vorgehen, Komplikationsmanagement*, Quintessenz Verlag.
- Younger, E.M. & Chapman, M.W. 1989, "Morbidity at bone graft donor sites", *Journal of orthopaedic trauma*, vol. 3, no. 3, pp. 192-195.
- Zheng, X., Huang, L., Huang, S., Mo, A. & Zhu, J. 2022, "Influence of anatomical factors related to maxillary sinus on outcomes of transcrestal sinus floor elevation", *Journal of Dental Sciences*, vol. 17, no. 1, pp. 438-443.