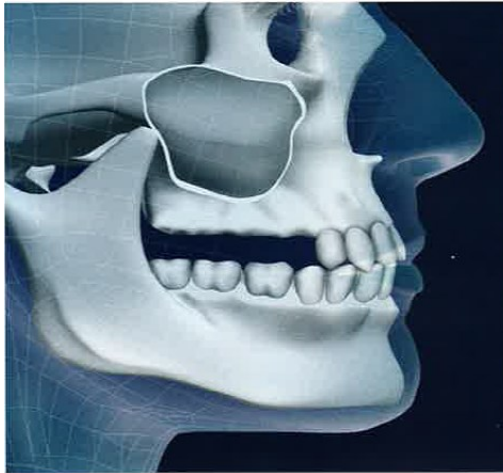


DIPLOMARBEIT

Krestale Sinusbodenelevation nach Summer versus piezochirurgische Technik

Eine experimentelle Vergleichsstudie



eingereicht von

Nicola Bianco

Geb. 09.11.1964

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnheilkunde (Dr. med. dent.)

ausgeführt am

Department für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie
der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz

unter der Anleitung von

Univ. - Prof. DDr. Norbert Jakse

Ass. Prof. - Priv. - Doz. DDr. Michael Payer

Diese Diplomarbeit ist meinen Eltern, meiner Oma Raffaella,
meinem Onkel Nicola und Veronika gewidmet.

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 inhaltlichen entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz am

Nicola Bianco

Danksagung

Mein Dank gilt besonders Ass. - Prof. Priv.-Doz. DDr. Payer und Priv.-Doz. Dr. Kirmeier für die Bereitstellung des interessanten Themas und für die umfassende wissenschaftliche Betreuung.

Für die wertvollen Ratschläge möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse und bei Herrn OA Dr. Sebastian Kühl herzlich bedanken.

Dem Institut für Anatomie Graz, insbesondere Herrn Univ.-Prof. Dr. Andreas Weiglein und Herrn Johann Eder möchte ich für die Bereitstellung der Schädelpräparate einen besonderen Dank aussprechen.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei den medizinisch-technischen Fachkräften Herrn Manfred Neuhold und Michael Narat für die Unterstützung bei der Erstellung der OPG- und DVT- Datensätze bedanken.

Ein großer Dank geht auch an Frau Dipl.-Ing. Irene Mischak für die Durchführung der statistischen Berechnungen und Erstellung der Grafiken.

Zu sehr großen Dank bin ich all den Menschen verpflichtet, die mich während der Studienzeit bestmöglich unterstützend begleitet haben.

Ein besonderer Dank gilt nicht zuletzt Herrn Univ.-Prof. Walther Wegscheider der während meiner gesamten Studienzeit ein wertvoller Ratgeber war.

Zusammenfassung

Einleitung

Immer mehr Menschen haben bei Verlust ihrer natürlichen Zähne den Wunsch nach einem gut retinierten und festsitzenden Zahnersatz, also einem Implantat. Als Folge von Zahnverlust im Oberkieferseitenzahnbereich, atrophiert der Alveolarfortsatz individuell. Hinzu kommt, dass mit steigendem Lebensalter der Sinus maxillaris hyperpneumatisiert (Sharan, 2008). Für eine ausreichende Implantatverankerung ist eine vertikale Knochenhöhe von ca 7 mm erforderlich, welche bei atrophierten Alveolarknochen nicht gegeben ist (Browaeys H, 2013). In diesen Fällen ist die Schaffung eines ausreichenden Implantatbettes durch Knochenanlagerung (Augmentation) notwendig. Im Oberkiefer haben sich dafür zwei Methoden etabliert: externer und krestaler Sinuslift (= Erhöhung des Sinusbodens). Ziel dieser experimentellen Studie war es, beim krestalen Sinuslift zu untersuchen, welche der beiden Techniken, Piezo versus Summers, für die Sinusmembran (Schneider'sche Membran) schonender ist. Die Studie wurde in einem randomisiert-kontrollierten vorklinischen Verfahren realisiert.

Material und Methode

An 16 Humanpräparaten wurde die krestale Technik der Sinusbodenelevation nach Summers versus piezochirurgische Technik an 23 Kieferhöhlen (Sinus maxillaris) durchgeführt. Es wurde die Funktionsweise der Instrumente beider Techniken untersucht und verglichen. Mittels Panoramaröntgen, DVT Scan und CT Scan, wurden 16 Humanschädel ausgewählt. Einschlusskriterien waren zahnloser Oberkieferseitenzahnbereich und eine vertikale Knochenhöhe von 4-8 mm. Die Studie wurde an Humanpräparaten angewandt, um die Unterschiede der Instrumente beim krestalen Sinuslift nach Summers versus piezochirurgische Technik auf die Schonung oder Perforation der Sinusmembran zu untersuchen. Durch den enoralen Zugang wurde an einer Seite des Humanpräparates die Sinusmembran mit der piezochirurgischen Technik angehoben (**Testseite**) und auf der kontralateralen Seite wurde die krestale Sinusbodenelevation nach der Summers Osteotomtechnik (**Kontrollseite**) angehoben. Zur radiologischen Quantifizierung des augmentierten Sinusvolumens wurde der entstandene

Hohlraum mit einem röntgenopaken Silikon (Elite Implant Medium, Zhemack, Italien) gefüllt. Das erweiterte Volumen wird durch CT-Scan und einer validierten Software (Vomix, Chemnitz, Deutschland) berechnet und miteinander verglichen. Die Studienpräparate wurden vom Anatomischen Institut der Medizinischen Universität Graz, zur Verfügung gestellt. Sie waren nach der Konservierungsmethode von Prof. Thiel behandelt und erlaubten eine realitätsgetreue Simulation. Der chirurgische Eingriff wurde von zwei Operateuren (PD DDr. Payer, PD Dr. Kirmeier) nach Zufallsprinzip Summers vs Piezo durchgeführt.

Ergebnisse

Die Messungen ergaben für das mittlere Augmentationsvolumen nach CT-Scan $0,29 \text{ cm}^3 \pm 0,19 \text{ cm}^3$ ($0,07 \text{ cm}^3 - 0,60 \text{ cm}^3$) für die Summers-Technik und $0,39 \text{ cm}^3 \pm 0,32 \text{ cm}^3$ ($0,05 \text{ cm}^3 - 1,04 \text{ cm}^3$) für die piezoelektrische Technik. Das entspricht einer starken Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden. Summers-Technik ICC = 0,992 (95% Konfidenzintervall (0,980-0,998) versus piezoelektrische Technik ICC = 0,999 (95% Konfidenzintervall (0,998-1,000)). Die Ergebnisse dieser experimentellen Studie zeigen, dass es beim Vergleich der beiden Techniken keinen signifikanten Unterschied gibt (Mann-Whitney-Test: $p=0,566$). (Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen). Bei der piezoelektrischen Technik kam es zu 3 Perforationen der Sinusmembran. Der Unterschied zur Kontrollgruppe mit 1 Perforation ist statistisch nicht signifikant. Das kann an der geringen Fallzahl der Studie liegen, der Tagesverfassung des Operateurs oder am Konservierungszustand der Sinusmembran.

Konklusion

Beide Techniken erlauben eine zweckmäßige Augmentation im atrophierten Kieferkamm der posterioren Maxilla. Die piezoelektrische Technik könnte durch ihre gewebsselektive Technik eine gute Alternative zu der Osteotomie Technik nach Summer's sein.

Abstract

Introduction

More and more people who lose their natural teeth ask for an embedded and fixed dental prosthesis – an implant. Due to tooth loss in the maxilla region the alveolar process becomes atrophic. Furthermore, the maxillary sinus hyperpneumatizes with increasing age of people. To fix implants properly it is necessary to have a vertical bone height of 7 mm which is not true for atrophic jaws. In this particular case a sufficiently dimensioned implant bed will be created with the help of bone apposition (augmentation). As far as the upper jaws are concerned, two techniques have proven to be successful: internal and external sinus lift (elevation of the maxillary sinus floor). Up to now the Summer lift technique was thought to be the ideal one. But the piezosurgery technique could be a real alternative.

So it was the aim of this experimental, randomized-controlled and pre-clinical study to find out which of the two techniques is gentler for the sinus membrane (Schneiderian membrane).

Materials and methods

With the help of panoramic radiography, DVT-scan, and CT-scan, 16 skulls (23 maxillary sinuses) were selected. Inclusion criteria for the study were toothless maxilla regions and a vertical bone height of 4 to 8 mm. In 16 human specimens (prepared according to the Thiel embalming method and provided by the Institute of Anatomy of the Medical University of Graz) the indirect sinus lift was carried out with the Summer's lift technique in 12 and alternatively in 23 maxillary sinuses with the piezosurgery technique. Then the functionality of the different instruments used for the two techniques were examined and compared with each other with regard to the perforation rate of the sinus membrane. Through intraoral access the sinus membrane is lifted with the piezosurgery technique on one side of the specimens (test side) and on the other side with the Summers' lift technique (control side). The simulation of the sinus floor elevation is achieved by filling up the resulting cavity with radiopaque silicone (Elite Implant Medium, Zhermack, Italy). With the aid of CT-scans and a validated software (Vomix, Chemnitz, Germany) the augmented volume is calculated and the results are compared with

regard to received height and perforation rate. Two surgeons (PD DDr. Payer, PD Dr. Kirmeier) performed the operations according to a random principle.

Results

After the CT-scan the results for the average augmentation volume showed $0.29 \text{ cm}^3 \pm 0.19 \text{ cm}^3$ ($0.07 \text{ cm}^3 - 0.60 \text{ cm}^3$) in favor of the Summer's lift technique and $0.39 \text{ cm}^3 \pm 0.32 \text{ cm}^3$ ($0.05 \text{ cm}^3 - 1.04 \text{ cm}^3$) in favor of the piezosurgery technique. There is a high correspondence between these two techniques: Summer's lift technique ICC = 0.992 [95% confidence interval (0.980-0.998)] and piezosurgery technique ICC = 0.999 [95% confidence interval (0.998-1.000)]. So the results of this experimental study prove that there is hardly any significant difference between these two techniques (Mann-Whitney-Test: $p=0,566$: two populations are the same against an alternative hypothesis).

The use of the piezosurgery technique led to three perforations of the sinus membrane, the use of the Summer's lift technique to one. So there is almost no significant difference. This may be due to either the small number of cases or the state of conservation of the sinus membrane.

Conclusion

Both techniques allow a convenient augmentation in the atrophic alveolar ridge of the posterior maxilla. All in all, the piezosurgery technique as tissue-selective technique could be an appropriate alternative to Summer's osteotomy.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Entwicklung der Kieferhöhle	2
1.2	Anatomie des Sinus maxillaris (Highmore Höhle)	3
1.2.1	Wände des Sinus maxillaris	4
1.2.2	Gefäßversorgung des Sinus maxillaris	6
1.2.3	Nervenversorgung des Sinus maxillaris	6
1.3	Die Sinusmembran (Membrana Schneideria)	6
1.3.1	Namensgebung	6
1.3.2	Anatomie der Sinusmembran	7
1.4	Funktionen der Kieferhöhle	7
1.5	Knochengewebe	8
1.5.1	Osteogenese	8
1.5.2	Makroskopischer Aufbau des Knochens	8
1.5.3	Knochenatrophie im Alveolarfortsatz	9
1.6	Knochenangebot und Implantatstabilität	10
1.6.1	Knochenquantität und -qualität	11
1.6.2	Knochenaugmentationsmaterialien	15
1.7	Die Sinusbodenelevation	17
1.7.1	Chirurgische Techniken der Sinusbodenelevation	17
1.7.2	Mögliche Augmentationshöhen	21
1.7.3	Indikation für die Sinusbodenelevation	21
1.7.4	Kontraindikationen der Sinusbodenelevation	22
1.7.5	Alternativen zum Sinuslift	23
1.7.6	Piezoelektrische Technik	23

2	Material und Methode.....	25
2.1	Vorbereitung der Studie	26
2.1.1	Vorauswahl der Humanpräparate	26
2.1.2	Flussdiagramm	28
2.2	Röntgenaufnahmen.....	29
2.3	DVT-Aufnahme	31
2.3.1	DVT Romexis Längenmessung	32
2.4	Erstellen der Computertomogramme (CT-Scan).....	33
2.4.1	Einstellungen am Computertomographen	33
2.4.2	CT-scan reference value (1. CT-Scan).....	34
2.5	Simulation der Augmentationen	35
2.6	Durchführung der Volumenmessung.....	38
3	Ergebnisse	40
3.1	Messprotokoll der Augmentationsvolumina	40
3.2	Messergebnisse	42
3.2.1	ICC Intraclass-Korrelationskoeffizient.....	42
3.3	Signifikanztest.....	43
3.4	Box- and- Whiskers Plot.....	44
4	Diskussion.....	45
5	Konklusion.....	50
6	Literaturverzeichnis	51
7	Abbildungsverzeichnis.....	57
8	Tabellenverzeichnis	59

Glossar und Abkürzungen

DVT	Digitale Volumentomographie
CT	Computertomographie
Mm	Millimeter
OPG	Orthopantomogramm
LKG	Lippen-Kiefer-Gaumenspalten
vs	versus
Schneidersche Membran	Sinusmembran oder Kieferhöhlenschleimhaut
Sinus maxillaris	Kieferhöhle
KhA	Kieferhöhlenaugmentation
PeT	Piezoelektrische Technik
Sec	Sekunden
KV	Kilovolt
mA	Milliampère
i.d.R.	in der Regel
dexter	rechts
sinister	links

1 EINLEITUNG

Ist die klassische krestale Sinusbodenelevation nach Summers, in Hinblick auf eine Kieferhöhleneröffnung, sicherer als die krestale Methode mit der piezoelektrischen Technik?

Immer mehr Menschen haben bei Verlust ihrer natürlichen Zähne den Wunsch nach einem gut retinierten und festsitzenden Zahnersatz. Als Folge von Zahnverlust im Oberkieferseitenzahnbereich atrophiert der Alveolarfortsatz individuell. Innerhalb des ersten Jahres ist der Verlust der Knochenhöhe am größten. Hinzu kommt, dass mit steigendem Lebensalter der Sinus maxillaris hyperpneumatisiert (Wehrbein, 1992; Solar, 1998; Sharan, 2008).

Übrig bleibt eine dünne Knochenstärke von wenigen Millimetern, nicht selten von 1-2 mm, was für die Primärstabilität eines Implantates insuffizient ist. Um Implantaten einen ausreichenden Halt zu geben, braucht man eine vertikale Knochenhöhe von ca. 7 mm (Browaeys H, 2013). Mit der Sinusbodenelevation als präimplantologische Maßnahme wird das vertikale Knochendefizit ausgeglichen (Boyne, 1980).

Dabei wird der Kieferhöhlenboden (Sinusmembran) angehoben und mit Knochenersatzmaterial und/oder Eigenknochen erhöht (augmentiert). Auf diese Weise schafft man ein Knochenlager, welches den Implantaten Primärstabilität gibt und später Sekundärstabilität verschafft (Minde, 2008).

In der präimplantologischen Sinusbodenelevation haben sich zwei chirurgische Vorgehensweisen etabliert: Zum einen der externe Zugang über die laterale Fenestrierung der Maxilla nach Tatum und zum anderen der Zugang über den Alveolarkamm (krestaler Zugang nach Summers), auch als interner Sinuslift bekannt. Beide chirurgische Techniken haben ihre Vor- und Nachteile. Während der laterale Zugang invasiver für den Patienten ist, dafür aber dem Operateur eine gute Übersicht bietet, ist es beim internen Sinuslift genau umgekehrt. Der Operateur hat keine Sicht auf die Schleimhaut der Kieferhöhle (Sinusmembran oder Schneider'sche Membran), dafür aber ist der Eingriff weniger traumatisch (Summer, 1994).

Der Einzug der piezoelektrischen Technik in die orale Medizin könnte eine Möglichkeit bieten, trotz eingeschränkter Sicht die Sinusmembran signifikant zu schonen.

Ziel jeder Sinusbodenelevation ist es, eine Perforation der Sinusmembran zu vermeiden. Eine Eröffnung der Kieferhöhle kann zu einer akuten, bzw. zu einer chronischen Sinusitis führen. Die Piezochirurgie schont das Weichgewebe. Sie schneidet nur auf Knochengewebe und ist damit gewebsselektiv, was dem Operateur bei eingeschränkter Sicht auf die Sinusmembran eine größere Sicherheit bieten kann (Grötz, 2011).

Die Frage, die sich stellt, ist, ob bezüglich der Verletzung der Schneider'schen Membran beim kristallinen Sinuslift die piezochirurgische Technik im Vergleich zur Osteotomtechnik gleich gut oder besser ist.

1.1 Entwicklung der Kieferhöhle

In etwa der 10. Fetalwoche beginnt die Entwicklung der Kieferhöhle. Dabei kommt es zu einer lateralen Aussprossung des Epithels im primitiven mittleren Nasengang in Richtung Oberkiefer. Gleichzeitig beginnen ähnliche Entwicklungen im Bereich der Siebbeinzellen, der Stirnhöhle sowie der Keilbeinhöhle. Die gesamte Nasenhöhlenanlage ist dabei von einer knorpeligen Nasenkapsel umgeben, die sich zum Nasenseptum, den Nasenmuscheln sowie den Processus uncinatus des Siebbeins weiterentwickelt. Die Schleimhautaussackungen der Kieferhöhlen wachsen nach seitlich und unten vor. Zunächst wird die knorpelige Nasenkapsel, später zusätzlich die bereits gebildeten Knochenstrukturen resorbiert. Zum Zeitpunkt der Geburt ist die oberhalb der Anlage des ersten Milchmolaren gelegene Kieferhöhle noch wenige Millimeter groß. Die endgültige Form und Größe der Kieferhöhle ist erst mit dem Durchbruch der bleibenden Dentition bis zum Erwachsenenalter beziehungsweise erst später erreicht. Mit zunehmender Ausdehnung der Kieferhöhle nach kranial wird der N. infraorbitalis aus seinem knöchernen Kanal exponiert, bis er unmittelbar unterhalb der Kieferhöhlenschleimhaut zu liegen kommt (Reinert, 2010).

Altersabhängige Ausdehnung von Sinus frontalis und maxillaris

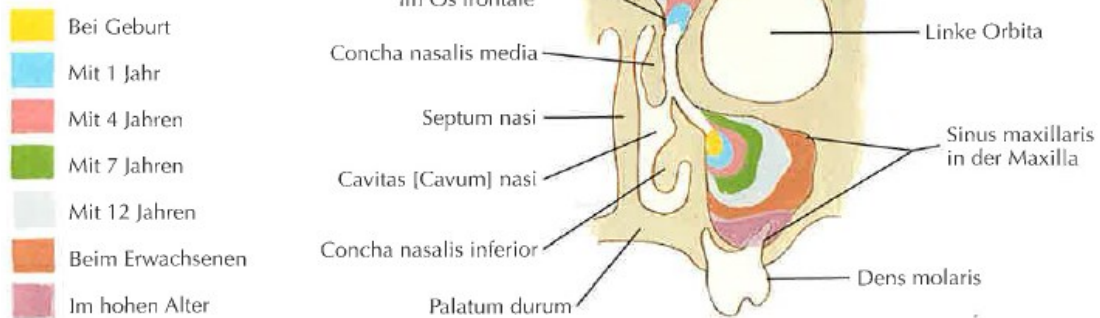


Abbildung 1 – Altersabhängige Ausdehnung von Sinus frontalis und maxillaris (Netter, 2011)

1.2 Anatomie des Sinus maxillaris (Highmore Höhle)

Der Sinus maxillaris gehört zu den Nasennebenhöhlen, Sinus paranasales. Sie gehört zu den pneumatischen Räumen des Schädels. Beim Menschen entstehen in der Regel vier paarig angelegte Nasennebenhöhlen, zwei davon pränatal, zwei postnatal: Sinus maxillaris (Highmore) dexter et sinister, Sinus frontalis dexter et sinister, Sinus sphenoidales dexter et sinister und die Cellulae ethmoidales dexter et sinister.

Die bilateral angelegte Kieferhöhle ist die größte der Nasennebenhöhlen mit einem Volumen von 11 cm^3 ($\pm 4,5 \text{ cm}^3$) beim Erwachsenen, wobei ihre Größe, bei Hyperpneumatisation, Zahnverlust und altersbedingter Alveolarfortsatzatrophie stark variieren kann (Weiglein, 2012).

Die Form der Kieferhöhle gleicht einer vierseitigen Pyramide, wobei die Basis der seitlichen Nasenwand entspricht und die Spitze in Richtung Os zygomaticus zeigt. (Woo, 2004).

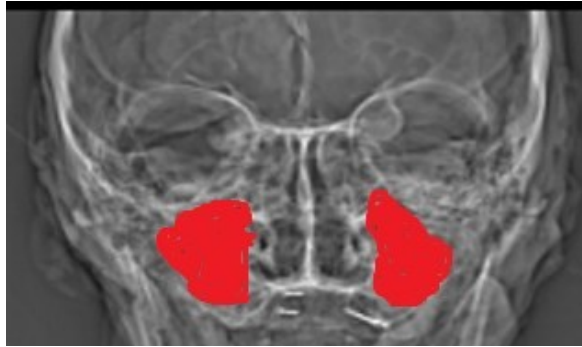


Abbildung 2 - Ausdehnung des Sinus maxillaris am Präparat F 65 CT-Bild coronal

Mit dem Durchbruch der ersten Molaren setzt ein intensives Wachstum der Kieferhöhle ein. Im Alter von acht Jahren hat die Kieferhöhle bereits die Form einer Pyramide. Mit 12 Jahren erreicht sie nahezu ihre endgültige Größe. (Solar, 1998; Weiglein, 2012) Im höheren Alter, nach Zahnverlust und mit zunehmender Pneumatisation, nimmt ihr Volumen nochmal zu. Neben der Pneumatisation des Corpus maxillae kann der Sinus maxillaris durch verschiedene Recessus erweitert werden: Recessus alveolaris (ca. 50%), Recessus zygomaticus (ca. 40%). Es werden auch Recessus palatinus und Recessus frontalis beobachtet (Weiglein, 2012).

1.2.1 Wände des Sinus maxillaris

Dach: Das Dach der Kieferhöhle entspricht dem Orbitaboden und ist sehr dünnwandig. Es enthält eine Rinne, die sich als Canalis infraorbitalis bis zur vorderen Wand der Maxilla fortsetzt.

Boden: Der Boden der Kieferhöhle liegt über den Processus alveolaris. Die Kieferhöhle hat hier engen Kontakt zu den Wurzeln der Molaren und Prämolaren. Die tiefste Stelle der Kieferhöhle liegt in der Regel über den ersten Molaren. In wenigen Fällen (ca. 2%) perforieren die Wurzeln der ersten und zweiten Molaren den Kieferhöhlenboden und können bei Extraktionen die Kieferhöhle eröffnen (Hausamen, 2012; Weiglein, 2012).

Bei einer späteren Implantation muss der Alveolarkamm durch Anlagerung von Knochenersatzmaterial unter der Sinusmembran (Sinusbodenelevation) vergrößert werden, um eine Primärstabilität der Implantate zu gewährleisten.

Mediale Wand: Die mediale Wand des Sinus maxillaris ist gleichzeitig die seitliche Wand der Nasenhöhle. Über eine kleine Öffnung (Hiatus semilunaris) mündet die Kieferhöhle in das Infundibulum ethmoidale in Richtung des mittleren Nasenganges. Da der Hiatus semilunaris höher liegt als der Boden der Kieferhöhle, kann es bei einer Sinusitis (Entzündung der Sinusmembran), zu einem Sekretstau in der Kieferhöhle kommen (Weiglein, 2012).

Vorderwand und Hinterwand: Die Vorderwand der Kieferhöhle entspricht der Facies anterior der Maxillae, die Hinterwand entspricht dem Tuber Maxillae und grenzt an die Fossa pterygopalatina (Zilles, 2010).

Die Abbildung 3 zeigt eine Übersicht der Kieferhöhle mit den angrenzenden Nachbarstrukturen.

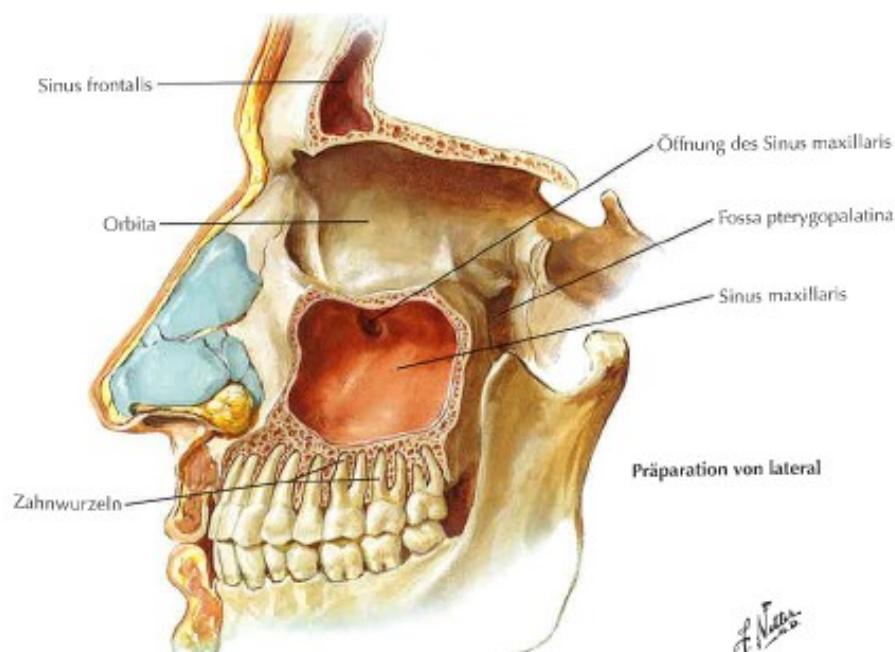


Abbildung 3- Sinus maxillaris (Netter, 2011)

1.2.2 Gefäßversorgung des Sinus maxillaris

Die Gefäßversorgung des Sinus maxillaris und des Alveolarkammes erfolgt durch die A. maxillaris mit ihren Ästen A. alveolaris sup. post., A. infraorbitalis, Aa. alveolares sup. ant., A. palatina descendens und A. sphenopalatina sowie durch die Arteria anonyma. Letztere gehört zu den intraossären Anastomosen und verläuft ca. 1,9 cm oberhalb des Alveolarkammes. Nicht selten wird sie während der Sinusbodenelevation verletzt (Chanavaz, 1990; Solar, 1999; Van den Bergh, 2000).

1.2.3 Nervenversorgung des Sinus maxillaris

Der Sinus maxillaris wird vom Nervus maxillaris, dem zweiten Ast des Nervus Trigemini, innerviert. Er verläuft in der Fossa pterygopalatina und gibt die Ramii alveolaris superiores, R. alveolaris sup. medius, Rr. alveolares superiores anteriores, und die Rr. alveolares superiores et posteriores (Weiglein, 2012).

1.3 Die Sinusmembran (Membrana Schneideria)

1.3.1 Namensgebung

Der Name der Kieferhöhlenschleimhaut geht auf den Deutschen Mediziner Konrad Viktor Schneider, *1614 (Bitterfeld) bis †1680 (Wittenberg), zurück. Er war Professor für Anatomie und Botanik an der Universität Jena. Sein Hauptwerk „**Von den Schleimflüssen oder Katarrhen**“, das 1660 und 1664 erschien, widerlegte er die bis damals allgemeingültige Lehrmeinung, dass Schleim aus der Nase durch das Gehirn gebildet werde (Gerabek, 2005). Er entdeckte die Schleimhäute in der Nase und den Nasennebenhöhlen, wie z.B. der Kieferhöhle, die noch heute nach ihm, als **Membranae Schneideriae** (Schneider'sche Membranen) bezeichnet werden (Weiglein, 2012). Weiteren Studien und Schriften, die nach genauen Beobachtungsstudien entstanden, wie zum Beispiel auf dem Gebiet der Anatomie, Physiologie und Pathologie erlangten an Bedeutung.

1.3.2 Anatomie der Sinusmembran

Die Innenwände des Sinus sind mit der Schneider-Membran ausgekleidet, die von einem pseudo-mehrschichtigen zilientragenden Zylinderepithel bedeckt ist. Dieses besteht aus Basalzellen, Zylinderepithelzellen und Becherzellen, die an der Basalmembran befestigt sind. In der darunter liegenden Lamina propria befinden sich seromuköse Drüsen, insbesondere im Bereich des Ostiums. Die Dicke der Schneider-Membran ist im Durchschnitt 0,8 mm (van den Bergh, 2000). Sie wird durch kontinuierliche Sekretion von Flüssigkeit aus den Becherzellen und seromukösen Drüsen feucht gehalten. Da die Schneider-Membran in direktem Kontakt mit der Atemluft steht, bildet sie auch eine immunologische Barriere. Ihre Funktion besteht darin, den Schleim in Richtung des Sinusostiums zu transportieren, durch das er in die Nasenhöhle abgesondert wird (Stammberger, 1986).

1.4 Funktionen der Kieferhöhle

Die Nasennebenhöhlen haben mehrfache Funktionen. Durch die Leichtbauweise der pneumatischen Räume des Schädels (pneumatischen Räume) wird der Schädel erheblich leichter, bleibt aber dennoch sehr stabil. Ihre Funktion als Resonanzräume der menschlichen Stimme wird deutlich, wenn sie durch die Erkältung einer Person außer Kraft gesetzt ist. Ein weiterer Aspekt ist die sogenannte **„Airbag“-Funktion**. Selbst bei schweren Traumen der Maxilla, wie zum Beispiel den Le-Fort Frakturen, bleiben die lebensnotwendigen neurovaskulären Strukturen, die unmittelbar hinter den Nasennebenhöhlen liegen, unverletzt (Weiglein, 2012). Bei Gesichtstraumen, die den Bulbus oculi miteinbeziehen, bricht dieser durch das Kieferhöhlendach in den Sinus maxillaris ein (Blow out-Fraktur), wodurch Schäden am Auge minimiert werden. Nicht zuletzt hält sie als Wärmeisolationsschicht der Schädelbasis die Temperatur und die erforderliche Luftfeuchtigkeit der Atemwege konstant (Zilles, 2010).

Aufgaben der Nasennebenhöhlen:

Zu den Hauptaufgaben der Nasennebenhöhlen zählen die Erwärmung, Anfeuchtung und Reinigung der Atemluft. Weiters bieten sie Unterstützung bei der Geruchsempfindung, fungieren als Resonanzkörper bei der Stimmbildung, dienen der Wärmeisolation der Schädelbasis und gewähren mechanischen Schutz bei Traumen (Hausamen, 2012; Zilles, 2010).

1.5 Knochengewebe

1.5.1 Osteogenese

Die Knochenbildung geschieht entweder auf bindegewebiger oder knorpeliger Vorstufe. Es wird zwischen desmaler und chondraler Ossifikation unterschieden: Von **desmaler** Ossifikation spricht man, wenn sich der Knochen direkt aus Bindegewebe entwickelt, sogenannter Deck- oder Belegknochen. Desmal gebildet sind Knochen, welche keine Stützfunktion haben, wie die meisten Knochen des Gesichtsschädels. Da sich die desmal gebildeten Knochen an das Wachstum der umliegenden Strukturen anpassen müssen, erfolgt ihr Wachstum oppositionell, das heißt es wird ständig neuer Knochen auf der Außenfläche gebildet, während der Knochen auf der Innenfläche abgebaut wird (Bucher, 1997).

Um **chondrale** Ossifikation handelt es sich, sobald sich der Knochen aus einer knorpeligen Vorstufe entwickelt, so genannter Ersatzknochen. Der Großteil der Knochen des Körpers wird chondral gebildet. Sie haben alle die Funktion, den Körper zu stützen (Bucher, 1997).

1.5.2 Makroskopischer Aufbau des Knochens

Der menschliche Knochen ist nach einem „Leichtbauprinzip“ konstruiert, um Gewicht zu sparen und die Last besser zu verteilen. Nur so ist möglich, dass das Gewicht aller Knochen eines Menschen ohne Knochenmarkanteil gerademal 10% des Körpergewichtes ausmacht (Schiebler, 2007).

Der Knochen besteht aus einer relativ dünnen Rindenschicht (Substantia corticalis), aus dichtem kompakten Knochengewebe (Substantia compacta) und

einer breiten Innenschicht aus schwammartigen Bälkchenstrukturen (Substantia spongiosa). Mit Ausnahme der überknorpelten Gelenkenden ist die Außenfläche des Knochens vollständig von einer papierdünnen Knochenhaut, dem Periost, umhüllt. Dieses besteht aus einer inneren zell- und gefäßreichen und einer äußeren faserreichen Bindegewebsschicht. Die äußere Faserschicht schützt die Knochenoberfläche und bildet eine Anheftungsmöglichkeit für die Muskelsehnen. Die innere zellreiche Schicht sorgt bei der desmalen Ossifikation für das appositionelle Knochenwachstum, beim Röhrenknochen ist auf gleiche Weise ein Dickenwachstum zeitlebens möglich (Anpassung an Beanspruchung). Das Längenwachstum bei chondral ossifizierten Knochen endet mit dem Aufbrauchen des Epiphysenknorpels zwischen dem 16. und 24. Lebensjahr (Bucher, 1997).

1.5.3 Knochenatrophie im Alveolarfortsatz

Die Ursachen für die Knochenatrophie sind vielfältig. Nach Zahnverlust kommt es durch die mangelnde Stimulation der Trajektorien im Knochen bedingt zu knöchernen Umbauvorgängen im zahntragenden Alveolarfortsatz, die mit einer Abnahme des lokalen Knochens verbunden sind. Bereits nach 15 Wochen beginnen ausgedehnte transversale und vertikale Resorptionsprozesse des Alveolarfortsatzes. Die größte Resorptionsrate wird dabei innerhalb des ersten Jahres nach Zahnverlust beobachtet. Der nachfolgende Knochenabbau geht langsamer vor sich (Solar, 1998).

Auch durch Druck der Lippen- und Wangenmuskulatur kann es bei zahnlosen Oberkiefern zur Atrophie des Alveolarknochens kommen.

Zu einer Atrophie kann es auch bei lokalen Defekten kommen, wie zum Beispiel nach Osteotomien, Tumor- oder Zystenresektionen, bei Patientinnen und Patienten mit Lippen-, Gaumen- und Kieferspalten, sowie nach Traumen.

1.6 Knochenangebot und Implantatstabilität

Ziel der Sinusbodenelevation ist es, ein Implantatbett zu schaffen, um Implantaten die nötige Primärstabilität zu gewährleisten. Die Primärstabilität des Implantates ergibt sich aus dem Kontakt des Implantates mit dem Knochenlager, das heißt unmittelbar nach Insertion des Implantates. Die Sekundärstabilität eines Implantates folgt verzögert. Sie entsteht durch die Osseointegration des Implantates mit dem Knochenlager (Grading, 2006).

Voraussetzung für Primär- und Sekundärstabilität eines Implantates sind Knochenquantität und Knochenqualität. In den folgenden Abbildungen wird an Oberkiefermolaren eine geringe Knochenquantität (Abbildung 4) einer ausreichenden Knochenquantität (Abbildung 5) gegenübergestellt. In der Abbildung 5 ist die Knochenqualität allerdings durch die weitmaschige Spongiosa vermindert. Somit könnte in beiden Abbildungen der Knochen für die Insertion eines Implantates unzureichend sein, um eine Primärstabilität gewährleisten zu können.



Abbildung 4- OK-Molar mit geringem Knochenangebot



Abbildung 5 - OK-Prämolar mit weitmaschiger Spongiosa

1.6.1 Knochenquantität und -qualität

Um einen langfristigen Erfolg der Implantatversorgung sicherzustellen, ist es notwendig, dass das Implantat allseitig von ein bis zwei Millimeter Knochen eingefasst ist (Jakse, 2012). Sollte das Knochenangebot nicht ausreichen, so muss der Knochen augmentiert werden. Im Folgenden werden verschiedene Klassifikationen zur Einteilung der Knochenqualität des Alveolarfortsatzes und der Knochenquantität, des Ausmaßes der Alveolarkammatrophy, tabellarisch vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Beurteilung des Oberkieferknochens.

Lekholm und Zarb (1985) unterteilen die Resorption der zahnlosen Maxilla in fünf Grade (Lekholm U., 1985).

Grad	Klinische Erscheinung
A	Fast vollständiger Alveolarkamm
B	Geringfügige Resorption des Alveolarkamms
C	Fortgeschrittene Resorption des Alveolarkamms bis zum Basalbogen
D	Beginnende Resorption des Basalbogens
E	Extreme Resorption des Basalbogens

Tabelle 1 - Resorption der zahnlosen Maxilla nach Lekholm und Zarb

Misch und Judy (1987) erstellten eine weitere Einteilung in der sie die Resorptionsstadien in vier Gruppen unterteilten und diese Gruppen je nach Restbezaehlung weiter untergliederten. Die Knochenresorptionsstadien wurden anhand der Möglichkeit einer Implantation unterteilt. Teilbezaehnte Kiefer wurden in vier Klassen gegliedert, wobei unbezaehnte Kiefer einer von fünf Klassen zugeordnet wurden (Misch, 1987).

Gruppe	Einteilung
A	Ausreichend Knochenmaterial zur Verankerung aller Implanattypen
B	Kleinere Schrauben- und Zylinderimplantate können gesetzt werden
C	Implantatinsertion nur in der anterioren Region ohne Augmentation möglich
D	Implantatinsertion durch fortgeschrittene Knochenresorption nicht möglich

Tabelle 2 – Einteilung der Resorptionstadien nach Misch und Judy (1987)

Die Tabelle 3 zeigt die präoperative Klassifikation der Oberkieferatrophie nach Vercellotti et al (Vercellotti, 2001).

Atrophietyp	Kieferkamm -resthöhe	Anzahl der Operationssitzungen	Krestaler Zugang	Vestibulärer Zugang
Typ A	> 70 %	1	Ja	Ja
Typ B	30-50%	1	Nein	Ja
Typ C	30-50% Qualität 4	2	Nein	Ja
Typ D	< 30%	2	Nei	Ja

Tabelle 3 - Präoperative Klassifikation der Oberkieferatrophie nach Vercellotti

Cawood und Howell (1988) klassifizierten die Gesetzmäßigkeiten der Atrophie in 6 Grade (Cawood, 1988).

Klasse I	bezahnt
Klasse II	unmittelbar post extractionem
Klasse III	gerundeten Kieferkamm adäquate Breite und Höhe
Klasse IV	Messerscharfer Kieferkamm mit adäquater Höhe, aber inadäquater Breite
Klasse V	flacher Kieferkamm mit inadäquater Höhe und Breite
Klasse VI	Hoch atropher Kieferkamm mit teilweise negativem Kieferkamm

Tabelle 4 – Atrophieklassen nach Cawood und Howell

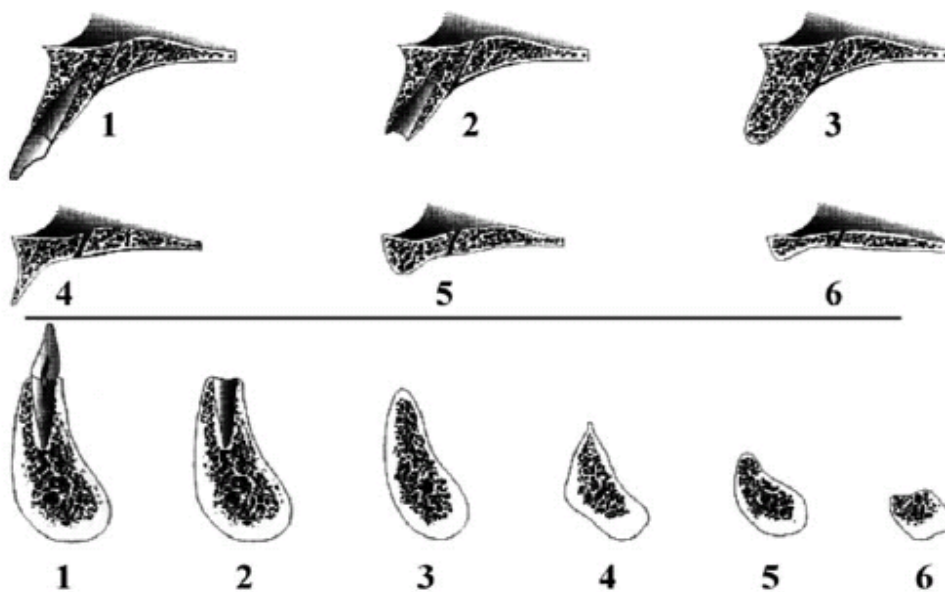


Abbildung 6 - Einteilung der Atrophie nach Cawood & Howell (1988)

Die Knochenqualität an der Implantationstelle hat einen direkten Einfluss auf die Stabilität und Prognose von Implantaten. Sie ist ein wichtiger Indikator für den Erfolg der Implantationstherapie.

Der Knochen im Bereich der posterioren Maxilla besteht oft nur aus einer dünnen Kortikalis mit weiträumiger teils eng-, teils weitlumiger Spongiosa, was einem Lekholm & Zarb Typ III- IV entspricht (Lekholm U., 1985). Die Überlebensrate von Implantaten in diesem Knochen ist reduziert. Razavi et al. beobachteten eine Abnahme der Knochenqualität von anterior nach posterior im Bereich der Maxilla (Razavi, et al., 1995).

Nach Lekholm und Zarb (1985) wird das Verhältnis von kortikalem zu spongiösen Knochen betrachtet (Lekholm U., 1985).

Klasse	Knochenqualität
I	Knochen besteht fast ausschließlich aus homogener Kompakta
II	Dicke Kompakta umschließt engmaschige Spongiosa
III	Dünne Kompakta umschließt engmaschige Spongiosa
IV	Dünne Kompakta umschließt weitmaschige Spongiosa

Tabelle 5 - Knochenklassen nach Lekholm und Zarb (1985)

Auch Misch (1990) unterteilt die Knochenqualitäten in Oberkiefer und Unterkiefer nach unterschiedlichen Anteilen von Kompakta und Spongiosa, wobei die Knochenklassen D2 und D3 als idealer Knochen für die Implantattherapie angesehen werden (Misch, 1990).

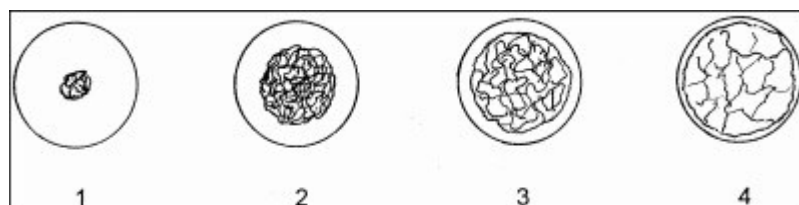


Abbildung 7 - Knochenklassen von D1 bis D4 nach Lekholm und Zarb - (Lekholm U., 1985) (Floyd, 1999)

Einteilung	Knochenqualität
D1	dichte Kompakta
D2	dichte poröse Kompakta, engmaschige Spongiosa
D3	dünne poröse Kompakta, weitmaschige Spongiosa
D4	weitmaschige Spongiosa

Tabelle 6 - Knochenklassen nach Misch

1.6.2 Knochenaugmentationsmaterialien

Knochenaugmentationsmaterialien bieten die Möglichkeit, fehlenden Knochen wieder aufzubauen. Bei fehlendem Knochenvolumen, beispielsweise nach Trauma- oder Tumor- bedingten Defekten, aber auch für präprothetische Maßnahmen wie beim Sinuslift, stehen verschiedene Knochenersatzmaterialien zur Verfügung. Ziel von Knochenersatzmaterialien ist es, dem Knochen eine stabile Leitstruktur (Osteokonduktion) zu geben und Knochenbildung anzuregen (Osteoinduktion) (Khoury, 2009).

Klassische augmentative Verfahren wie die Sinusbodenelevation mit Knochenersatzmaterialien und Knochentransplantaten aber auch Distraktionsosteogenese und gesteuerte Gewebsregeneration (GBR) sind Verfahren, die zur Erhöhung des Knochenvolumens dienen (Testori, 2010).

Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der Vor- und Nachteile verschiedener Knochenersatzmaterialien und alternative Konzepte zum Knochenaufbau bei Knochendefekten.

	Vorteile	Nachteile
Autogener Knochen	osteoinduktive Wirkung, osteokonduktive Wirkung, Möglichkeit des vaskulären Knochentransfers	begrenzte Verfügbarkeit, zweite Operation zur Knochenentnahme notwendig
Allogener Knochen	osteoinduktive Wirkung nach geeigneter Aufbereitung, osteokonduktive Wirkung beinahe freie Verfügbarkeit	mögliche Übertragung von Infektionskrankheiten
Alloplastische Knochenersatzmaterialien	frei verfügbar, osteokonduktiv	teuer, nicht osteoinduktiv
Xenogener Knochen	freie Verfügbarkeit, osteokonduktive Wirkung, Stabilität	mögliche Übertragung von Infektionskrankheiten
Bone Morphogenetic Proteins (BMP)	Aufgrund gentechnischer Herstellungsmöglichkeiten beinahe freie Verfügbarkeit, osteoinduktive Wirkung	geeignete Trägersubstanz notwendig
Gesteuerte Geweberegeneration (GBR)	Gewinnung körpereigenen Knochens ohne Schwächung des ortständigen Gewebes	Regeneration nur kleinerer Defekte
Knochendistraktion	Gewinnung körpereigenen Knochens ohne Schwächung des ortständigen Gewebes	Einschränkung für den Patienten durch das Tragen des Distraktors

Tabelle 7 - Vor- und Nachteile unterschiedlicher Knochentransplantate sowie der Methode zur Knochendistraktion und zur gesteuerten Geweberegeneration in Anlehnung an Schwenzer et al. 2001 (Schwenzer, 2001)

Alloplastische Knochenersatzmaterialien sind synthetische Knochenersatzmaterialien, wie zum Beispiel Hydroxylapatit und β -Trikalziumphosphat. Sie sind frei verfügbar und haben eine osteokonduktive aber nicht -induktive Wirkung.

1.7 Die Sinusbodenelevation

Die Sinusbodenelevation wurde erstmals 1977 von Tatum beschrieben. Sie gilt heute als Standardverfahren in der Implantchirurgie (Esposito, 2008; Tatum, 1977; Wiltfang, 2005). Die Sinusbodenelevation oder der Sinuslift ist ein chirurgischer Eingriff im Oberkieferseitenzahnbereich, mit dem der Alveolarfortsatz in Richtung Kieferhöhle aufgebaut werden kann. Dabei wird zunächst ein Zugang gelegt, über den die Sinusmembran angehoben wird und anschließend Knochenersatzmaterial oder Eigenknochen eingebracht wird. Durch die Einlagerung dieser Materialien unter die Kieferhöhlenschleimhaut wird diese angehoben (Elevation), sodass Implantate nach der Einheilung des Augmentationsmaterials verankert werden können (Khoury, 2009; Tatum, 1986).

1.7.1 Chirurgische Techniken der Sinusbodenelevation

1.7.1.1 Die Externe Sinusbodenelevation:

Beim externen Sinuslift wird über die laterale Kieferhöhlenwand die knöcherne Kieferhöhle eröffnet - auch laterales Fenster genannt. Die Osteotomie erfolgt mit rotierenden Instrumenten (Kugelfräse und diamantierte Kugelfräße) unter ausreichender Kühlung. Sie wird oval angelegt, bis die Sinusmembran als graublauer Schatten sichtbar wird. Die Größe der Antrostomie hängt von der Anzahl der zu inserierenden Implantate und von der vertikal erforderlichen Elevation ab. Normalerweise ist eine Antrostomie im mesial-distalen Durchmesser 20mm und apikal-koronal 15 mm breit (Testori, 2010).

Sinusmembranelevation:

Bei der Sinusmembranelevation ist die Gefahr der Membranperforation zu minimieren, indem die Elevatoren ständig im Knochenkontakt stehen. Die Sinusmembran wird bis zur medialen Wand des Sinus maxillaris angehoben. Anschließend wird der neu entstandene Hohlraum mit Augmentationsmaterial aufgefüllt (Khoury, 2009; Testori, 2010).

Einzeitiges Vorgehen:

Einzeitiges Vorgehen bedeutet, dass die Sinusbodenelevation und Implantatinsertion in einer operativen Sitzung stattfinden. Voraussetzung dafür ist ein ausreichendes Knochenangebot mit einer vertikalen Höhe von mindestens 3 bis 4 mm und einer Knochenqualität von ≥ 3 nach Lekholm und Zarb (Testori, 2010).

Zweizeitiges Vorgehen:

Ein zweizeitiges Vorgehen findet dann statt, wenn die Primärstabilität des Implantates in einer Sitzung nicht gesichert ist. Das ist dann der Fall, wenn das vertikale Knochenangebot weniger als 3 bis 4 mm beträgt. Hierbei wird zunächst die Sinusbodenelevation durchgeführt und mit Knochen- beziehungsweise Knochenersatzmaterial augmentiert. Ziel ist es, eine vertikale Knochenhöhe von mindestens 7 mm zu erzielen, die für eine Implantatstabilität erforderlich sind (Browaeys H, 2013). Nach 4 bis 6 Monaten Einheilungszeit erfolgt die Implantation (Testori, 2010).

In einer Übersichtsarbeit von Wallace und Froum aus dem Jahr 2003 wurde gezeigt, dass sich bei korrekter Indikationsstellung zwischen gleichzeitiger und verspäteter Implantation kein statistisch signifikanter Unterschied im Implantatüberleben feststellen lässt (Wallace, 2003).

Vorteile der Externen Sinusbodenelevation:

- große Augmentationsvolumina
- gute Übersicht auf das Operationsgebiet
- große Mengen an Knochen- und Knochenersatzmaterial einbringbar
- im Vergleich zum krestalen sinuslift geringere Perforationsgefahr
- einfacheres Komplikationsmanagement

Nachteile der Externen Sinusbodenelevation:

- aufwendige Operation
- bei zweizeitigem Vorgehen zwei Operationssitzungen
- Einheilungsphase dauert mehrere Monate bis zu einem Jahr
- für Patienten invasiver
- ungeeignet für multimorbide Patienten

1.7.1.2 Die krestale Sinusbodenelevation

Der krestale Zugang der Sinusbodenelevation ist ein weniger invasives Vorgehen verglichen mit dem lateralen Zugang und wurde im Jahr 1994 von Summer perfektioniert. Indiziert ist dieses Verfahren ab einer Kieferkammresthöhe von 5 mm (Summer, 1994).

1.) OSFE (Osteotom Sinus Floor Elevation):

Bei der Osteotom-Sinusbodenelevation wird der Sinusboden durch Knochen, der bei der Präparation an der Osteotomisstelle gewonnen wurde, mit einem Handinstrument, dem Bonespreader, angehoben. Diese Vorgehensweise wird als „interner Sinuslift“ bezeichnet (Testori, 2012).

2.) BAOSFE (Bone Added Osteotome Sinus Floor Elevation):

Die BAOSFE-Technik gleicht zum überwiegenden Teil der oben beschriebenen OSFE-Technik. Allerdings wird der Eingriff unter Verwendung von Knochentransplantaten und mit Hilfe eines Osteotomie-Sets, das in die Osteotomiestelle gestoßen wird, durchgeführt (Summer, 1994).

3.) FSD- Future Side Development

Die FSD-Methode ist ein krestaler Sinuslift mit verzögerter Implantatplatzierung, und entspricht einem zweizeitigen Vorgehen, wie beim externen Sinuslift. Indiziert ist diese Technik ab einer Kieferkammresthöhe von unter 5 mm (Summer, 1995).

Vorteile:

- Minimalinvasiv
- schnellere Heilungsphase
- Verdichtung des lokalen Knochens

Nachteile:

- eingeschränkte Sicht
- wenig Platz für Instrumente
- geringe Elevationshöhe von 2 mm-5 mm
- Klopfen am Kopf des Patienten kann mit Kopfschmerzen einhergehen

4.) PSFE (Piezo surgical sinus floor elevation)

Die piezoelektrische Technik ist ein neues Verfahren zur Durchführung von Osteotomien und wurde von Vercellotti 2001 vorgestellt (Vercellotti, 2001). Verwendet wird ein Ultraschallgerät mit variabler Modulation. Es schont dabei das Weichgewebe und schneidet nur im Knochengewebe. Vorteil dieser PSFE Technik ist, dass es das Risiko die Schneider-Membran zu perforieren reduziert (Grötz, 2011).

Vorgehensweise:

- Krestale Osteotomie des Knochens
- Membranseparation mit unterschiedlich gewinkelten Aufsätzen
- Membranelevation mit Diamantpunktaufsatz
- Einbringen von Knochen beziehungsweise Knochenersatzmaterialien mit geeigneten Instrumenten

Vorteile:

- Sehr schonend, es wird kein Druck und kein Klopfen ausgeübt
- Senkt das Risiko der Perforation der Schneider-Membran

Nachteile:

- geringe Augmentationhöhe von maximal 5 mm
- eingeschränkte Sicht
- Zeitaufwendig

5.) BLC balloon lift control system

Bei dieser neuen Methode wird nach vorhergegangener Osteotomie ein Ballonkatheter durch das Implantatbohrloch unter die Mucosa des Sinus maxillaris eingeführt. Danach wird der Ballon mit physiologischer Natriumchlorid-Lösung oder einer anderen flüssigen oder semiflüssigen Lösung aufgefüllt. Die Augmentationshöhe dieser Methode reicht bis zu 10 mm und führt zu keiner Perforation der Schneider-Membran (Stelzle, 2011).

Vorteile:

- Sehr schonend
- Augmentationshöhe 10 mm
- keine Perforation der Schneider Membran (Stelzle, 2011)

Nachteile:

- nur für geübte Operateure
- zeitlicher und technischer Aufwand (Stelzle, 2011)

1.7.2 Mögliche Augmentationshöhen

Die unten angeführte Tabelle zeigt eine Literaturübersicht über Augmentationshöhen bei der krestalen Sinusbodenelevation.

TABLE 1 Review of the Literature on Elevation Heights Regarding Indirect Sinus Floor Elevation			
Authors	Elevation Method	Design	Elevation Height (mm)
Summers (1994) ¹	OSFE	Technical report	4–5
Zitzmann and Scharer (1998) ²	OSFE	Clinical study	4–5
Ioannidou and Dean (2000) ³	OSFE	Case report	4–5
Emmerich et al. (2005) ⁴	OSFE	Meta-analysis	1–6
Summers (1994) ¹	BAOSFE	Case report	5–7
Rosen et al. (1999) ⁵	BAOSFE	Clinical study	5–7
Baumann and Ewers (1999) ⁶	ECOSFE	Experimental study	7–10
Nkenke et al. (2002) ⁷	ECOSFE	Clinical study	2–5
Sotirakis and Gonshor (2005) ⁸	Free fluid pressure	Case report	6–9
Benner et al. (2005) ⁹	BLC	Technical report	10
Kfir et al. (2007) ¹⁰	Balloon elevation	Case report	10

OSFE, osteotome sinus floor elevation; BAOSFE, bone-added osteotome sinus floor elevation; ECOSFE, endoscopically controlled sinus floor elevation; BLC, balloon-lift-control sinus floor elevation.

Abbildung 8 - Überblick über mögliche Argumentationshöhen bei indirekten Sinusliftverfahren übernommen von (Stelzle, 2011)

1.7.3 Indikation für die Sinusbodenelevation

Bei geplanter implantologischer Versorgung im Oberkieferseitenzahnbereich ist die Indikation für den Sinuslift ein mangelhaftes vertikales Knochenangebot. Dieses muss, um die Primärstabilität des Implantates gewährleisten zu können, eine Mindesthöhe von 7 mm vertikal und eine Breite von 5 bis 6 mm horizontal aufweisen (Browaeys H, 2013; Cacaci, 2006). Nicht selten sind Knochenhöhen von lediglich 3 bis 4 mm oder weniger. Das Ziel einer Sinusbodenelevation ist die Schaffung eines stabilen Implantatbettes (Khoury, 2009).

1.7.4 Kontraindikationen der Sinusbodenelevation

Eine vorausgegangene radikale Kieferhöhlenoperationen nach Caldwell-Luc, bei der die Schneider'sche Membran entfernt wurde, ist eine absolute Kontraindikation der Sinusbodenelevation, weil sich diese nicht mehr durchführen lässt (Stammlberger, 1987).

Bisphosphonate:

Die Implantatversorgung bei Patienten, die eine Bisphosphonattherapie erhalten, birgt als Nebenwirkung die Gefahr von Kiefernekrosen, welche nach chirurgischen Eingriffen, oder auch spontan auftreten können (Leite, 2006; Acham, 2012).

Radiotherapie:

Bei Patienten, die eine lokale Radiotherapie erhalten haben, ist das Risiko einer Periimplantitis, bzw. einer Osteoradionekrose erhöht. Oft bietet diesen Patienten die Implantatversorgung die einzige Möglichkeit, die Kaufunktionalität wieder herzustellen (Grötz, 2003).

Immunsuppression:

Bei Schwächung des Immunsystems (HIV, Organtransplantation) immer in Rücksprache mit dem behandelnden Arzt. Bei Vorliegen einer dauerhaften, massiven Immunsuppression sollte von einer Implantatversorgung abgesehen werden (Hwang, 2006; Acham, 2012).

Herz-Kreislauf-Erkrankungen:

Eine antikoagulative Therapie kann je nach Grunderkrankung eine Kontraindikation für den Sinuslift darstellen. Vor dem Eingriff ist eine Rücksprache mit dem behandelnden Arzt zu empfehlen. Nach überstandener infektiöser Endokarditis, Herzklappenersatz, Herztransplantationen beziehungsweise bei gewissen angeborenen Herzfehlern sollte zur Endokarditisprophylaxe eine Antibiotikatherapie eingeleitet werden. Diese sollte als one-shot-Therapie eine Stunde präoperativ, bei langer Eingriffsdauer von mehr als drei Stunden zusätzlich postoperativ erfolgen (Acham, 2012).

Rauchen

Rauchen hat einen negativen Einfluss auf das Heilungs- und Regenerationsverhalten des Gewebes. Laut Johnson et al 2001 sind Parodontitis-Patienten in 90% der Fälle Raucher (Johnson, 2001).

Darüber hinaus haben Zigarren und Zigarettenraucher einen höheren Knochenverlust als Nichtraucher. Der erhöhte Risikofaktor Rauchen kann zu einer unzureichenden Osseointegration und damit zum Implantatverlust führen (Johnson, 2001).

Funktionelle Erkrankungen:

Die Studienlage zu Risiken der Implantatversorgung bei kaufunktionellen Erkrankungen (Bruxismus, CMD, Kiefergelenkserkrankungen) ist heterogen. Aus Sicht der meisten Autoren stellen diese Erkrankungen nicht zwingend eine Kontraindikation für eine Implantatversorgung dar (Lobbezoo, 2004; Manfredini, 2011).

1.7.5 Alternativen zum Sinuslift

Als primäre Alternative gilt natürlich die konventionelle prothetische Versorgung. Weiters kann man den Sinuslift dadurch vermeiden, indem man die Implantatlokalisierung ändert, zum Beispiel Os zygomaticum und Tuber maxillae (Bilhan, 2008; Chrcanovic, 2012).

Eine weitere Möglichkeit einen Sinuslift zu umgehen, sind kurze Implantate. Aufgrund ihrer Gesamtlänge von unter 10 mm reicht oft die Restknochenhöhe aus, um implantieren zu können (Anitua, 2008; Testori, 2012).

1.7.6 Piezoelektrische Technik

Die piezoelektrische Knochenchirurgie auch als Piezosurgery® bekannt, ist ein relativ neues Verfahren zur Durchführung von Osteotomien und osteoplastischen Operationen in der Oralchirurgie. Sie stellt eine spezielle Ultraschallmethode dar. Der Begriff „Piezo“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „drücken“. Bereits um 1880 entdeckten die französischen Physiker Jacques und Pierre Curie in Zusammenarbeit mit Gabriel Lippmann, dass man durch mechanischen Druck an

der Oberfläche von bestimmten Festkörpern elektrische Ladung erzeugen kann. Durch Druck entsteht elektrische Spannung. Dies wird Piezoeffekt genannt (Cady, 1964).

Die ersten Einsatzmöglichkeiten in der Oralchirurgie wurden von J.E. Horton im Jahre 1975 beschrieben (Lambrecht, 2004).

In der konservierenden Zahnheilkunde, Endodontie und Parodontologie etablierte sich die Ultraschallanwendung früher. Die Piezosurgery® entwickelte sich als Alternative zur herkömmlichen Chirurgie mit Hand- und Bohrinstrumenten um eine höhere Präzision und Sicherheit zu erreichen. Entwickelt wurde sie von T. Vercellotti (Vercellotti, 2001).

Der größte Vorteil dieser neuen Methode liegt in der Selektivität der Schneidwirkung. Geschnitten wird durch eine mechanische Mikrovibration mit einer Amplitude von 20-60 μm und einer Frequenz von 29 KHZ. Diese ist ideal um Hartsubstanz zu schneiden, jedoch bei Berührung mit Weichgewebe bleibt sie ineffizient (Vercellotti, 2001). Um Weichgewebe schneiden zu können, bräuchte man eine höhere Frequenz (50KHZ). Die Tatsache, dass beim Schneiden von Hartgewebe das Weichgewebe unverletzt bleibt, ist einer der wichtigsten Vorteile der Piezosurgery®. Bei Kieferhöhlenoperationen reduziert der selektive Schnitt im Vergleich zu Bohr- und Handinstrumenten die Gefahr, die Schneider'sche Membran zu perforieren von 25 auf 5% (Vercellotti, 2001).

Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist der blutfreie Operationsbereich. Durch die Kavitation in der Kühlflüssigkeit, durch Ultraschallvibration verursacht, bilden sich große Mengen feiner Wassertröpfchen, die auf die Schneidoberfläche treffen, gleichzeitig aber Kapillarblutungen verhindern und die Oberfläche kühlen. Voraussetzung dafür ist, dass man mit einem geringen Anpressdruck arbeitet. Ein höherer Anpressdruck würde zum Temperaturanstieg und damit zur Zellschädigung im Operationsgebiet führen (Vercellotti, 2001).

2 MATERIAL UND METHODE

Zur Klärung der Frage, ob die eingeschränkte Sicht des Operateurs auf die Sinusmembran beim krestalen Sinuslift nach Summers durch die piezochirurgische Technik kompensiert werden kann, wurde an 16 Schädelpräparaten die Simulation eines krestalen Sinuslift mit der Osteotomtechnik nach Summers vs Piezotechnik an 23 Kieferhöhlen durchgeführt

Nach dem Zufallsprinzip wurde die Funktionsweise von Handinstrumenten bei der Simulation vom krestalen Sinusbodenelevation mit der piezoelektrischen Technik verglichen mit dem Ziel herauszufinden, welche der beiden Techniken für die Schneider'sche Membran (Kieferhöhlenschleimhaut) schonender ist und mit welcher Technik mehr Volumen augmentiert werden konnte.

Für den Vergleich der beiden Techniken wurde die Sinusbodenelevation an 23 Kieferhöhlen simuliert und anschließend mit einem röntgenopaken Abformmaterial (Elite Implant Medium, Zhemack, Italien) augmentiert. Vor und nach der Augmentation der Kieferhöhlen wurde ein CT-Scan der 23 Kieferhöhlen angefertigt. Nach Registrierung und Differenzbildung zwischen dem ersten CT-Scan ohne Augmentat und dem zweiten CT-Scan mit Augmentat wurde das Volumen der simulierten Augmentation berechnet. Die Berechnung der Volumina fand mit der validierten Software Vomix (Chemnitz Deutschland) statt.

Es wurden insgesamt drei Messungen an drei verschiedenen Tagen angefertigt. Die erste Messreihe galt als Referenzmessung. Die weiteren zwei Messreihen dienten als Kontrollmessungen. Die chirurgische Durchführung des krestalen Sinuslifts mit anschließender simulierter Augmentation wurde an einem Tag von zwei Operateuren nach dem Randomisierungsprinzip vollzogen. Jeder Operateur hat beide Techniken durchgeführt. Von den 23 simulierten Sinuslifts wurde die Augmentation an 12 Humanpräparaten mit der Summers-Technik und an 11 Humanpräparaten mit der piezoelektrischen Technik augmentiert.

2.1 Vorbereitung der Studie

Um einen repräsentativen Vergleich der beiden Techniken mit klinischer Relevanz erreichen zu können, war es notwendig, das Experiment an Humanpräparaten zu untersuchen.

Darüber hinaus war das gewünschte Ziel, eine determinierte Anzahl von Messergebnissen zu gewinnen, um die erhaltenen Daten und Messmethoden statistisch besser validieren zu können. Die Studie hat einen großen Zeitraum für die Vorbereitung in Anspruch genommen. Sowohl die Beschaffung der Schädel aus dem Anatomischen Institut der Medizinischen Universität Graz, als auch die Terminorganisation für die OPG, DVT und CT-Scans haben 18 Monate gedauert. Weitere sechs Monate wurden für die Messreihe und das Erstellen der Diplomarbeit benötigt.

2.1.1 Vorauswahl der Humanpräparate

Für die experimentelle Studie stellte das Institut für Anatomie der Medizinischen Universität Graz, unter der Leitung von o. Univ.-Prof. Dr. med. Friedrich Anderhuber, 108 Humanschädel zur Verfügung. Das Institut verwendet für die Humanpräparate die aldehydfreie Konservierung nach Thiel, bei der die Weichteile in ihrer natürlichen Konsistenz und Farbe sehr gut erhalten bleiben (Thiel, 1992; Thiel, 2002).

Ziel war es, 32 Kieferhöhlen in einem unversehrten Zustand zu erhalten. Bei der Auswahl war darauf zu achten, dass die Strukturen der Kieferhöhle in einem anatomisch unbeschädigten Zustand waren. Das bedeutete, dass Präparate mit Traumata, Operationen oder iatrogenen Verletzungen ausgeschlossen werden mussten.

Es war nicht möglich, die Studie nur an Humanpräparaten mit dem gleichen biologischen Alter durchzuführen. Statistisch lag das mittlere biologische Lebensalter bei 74,2 Jahren und reichte von 58 bis 94 Jahren. Von großer Bedeutung für die Studie war der Zustand der Schneider'schen Membran. Sie hatte direkten Einfluss auf die Simulation des Sinuslifts. Ihr Gewebeszustand, wie beispielsweise die Elastizität, Stärke der Sinusmembran, oder eventuelle

Verklebung am Sinusboden, hängt sowohl vom biologischen Alter als auch vom Konservierungszustand ab. Das war mittels Panoramaröntgen, DVT und CT-Scan nur partiell ermittelbar. Ein weiteres Auswahlkriterium war eine septenfreie (Underwood-Septen) Kieferhöhle. Septen hätten eine Augmentation der Membran erheblich erschwert.

Ein weiteres Ausschlusskriterium für die Selektion der Humanpräparate war die Verwendung der für eine bessere Identifikation der Arterien injizierte, mit Mennige (Pbo₄) gefärbte Gummimasse, welche von außen nicht sichtbar war. Die Arterieninjektionsmasse wird für die Strukturhaltung der Gefäße verwendet. Diese werden damit besser sichtbar und dienen den anatomischen Präparationsübungen der Medizinstudenten der Medizinischen Universität Graz. Durch ihre röntgenopake Eigenschaft hätte sie bei den OPG, DVT und CT-Bildern ausgeprägte Artefakte verursacht. Über 60% der Humanpräparate waren mit dieser speziellen Technik behandelt worden. Das erklärt die hohe Anzahl (108) an Schädeln für die Vorauswahl.

Auswahlkriterien für die Studienpräparate:

- arterieninjektionsfreies Humanpräparat
- zahnloser Oberkieferseitenzahnbereich
- anatomisch intakter Sinus maxillaris (Kieferhöhle)
- unversehrte Schneidersche Membran
- Septenfreie Kieferhöhle (Underwood-Septen)
- vertikale Knochenhöhe 4 mm – 8 mm
- Cawood-Skala II-III

2.1.2 Flussdiagramm

Für eine bessere Übersicht wurde ein Flussdiagramm erstellt, das den Ablauf der Studie veranschaulicht.

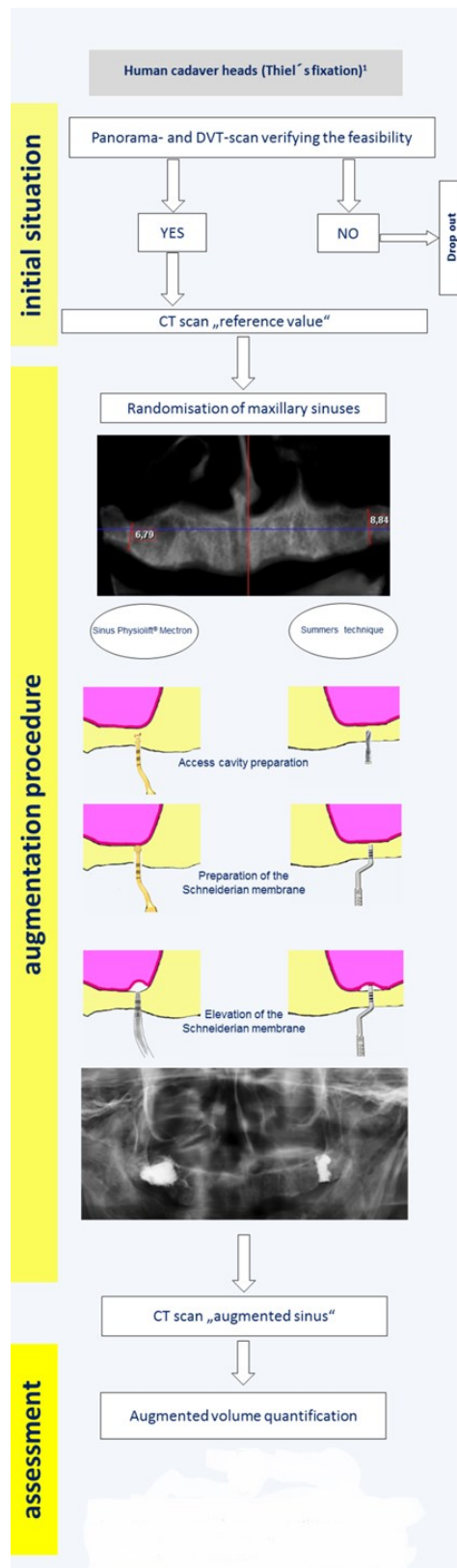


Abbildung 9 - Flussdiagramm der Studie

2.2 Röntgenaufnahmen

Orthopantomogramm (OPG)

Die Anfertigung der Panoramaschichtaufnahme (OPG) für die Auswahl der Humanpräparate wurde mit dem digitalen Orthophos XG Plus, (Modell-Nr.:D3352,Serien-Nr.:40549, Software-Version:02.20, Hardware-Version:AD) von der Firma Sirona, Bensheim, Deutschland, erstellt. Die Einstellungsparameter für das Gerät waren: Röhrenstromstärke 16 mA, Röhrenspannung 64 KV, mit einer Umlaufzeit von 14,1 sec. Für die Positionierung der Humanschädel im Panoramaröntgen wurde ein höhenverstellbares Fotostativ verwendet. Für die Auflagefläche ist eine 30 x 30 cm große Holzplatte mit einem Schaumstoffblock auf das Fotostativ montiert worden. Die ruhige Haltung des Humanpräparates während des Röntgenvorgangs wurde durch die Fixierung der Mandibula in der Kinnstütze und mit den drei Haltearmen des Röntgengerätes erreicht. Die dreidimensionale Ausrichtung erfolgte mittels Lichtstrahlprojektion. Ziel des Panoramaröntgens war, Humanpräparate vorauszuwählen, welche arterieninjektionsfrei waren, einen zahnlosen Oberkieferseitenzahnbereich mit einer Knochenhöhe von mindestens 4 mm und einen sichtbaren, unversehrten Sinus maxillaris aufwiesen. Alle 108 Humanpräparate wurden gescannt.



Abbildung 10 - OPG-Aufnahme der Humanpräparate (Orthophos XG Plus, Fa. Sirona)

Das OPG- Röntgenbild Abbildung 11 zeigt das Humanpräparat S 145. Aufgrund seiner röntgenopaken Silikonbehandlung der Gefäße ist das Röntgenbild gestört. Dieses Präparat wurde in der laufenden Studie nicht berücksichtigt.

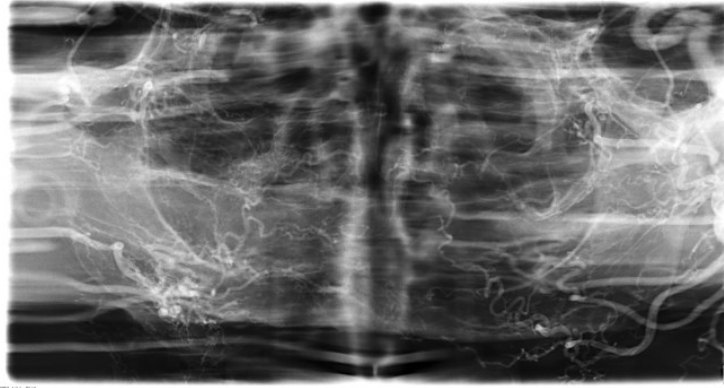


Abbildung 11- Panoramascichtaufnahme Humanpräparate S 145

Das Röntgenbild vom Humanpräparat F 65 Abbildung 12, wurde für das DVT-Röntgen. übernommen. Das Röntgenbild zeigt klare Strukturen.

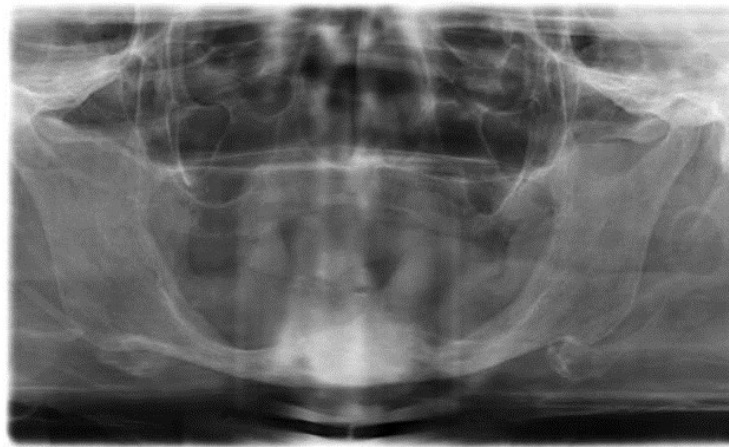


Abbildung 12 - Panoramascichtaufnahme des Humanpräparates F 65

2.3 DVT-Aufnahme

Für die DVT-Aufnahme wurde das Gerät Promax 3D der Firma Planmeca mit der Seriennummer TPX 355058 verwendet. Die Aufnahme erfolgte mit der Geräteeinstellung: Röhrenstärke 145 mA, Röhrenspannung 84 kV, Schichtdicke 0,15 mm, mit einer Aufnahmezeit von 12 Sekunden. Die Positionierung des Präparates entspricht derjenigen der OPG-Positionierung. Das Volumen zu dieser 3D-Ausführung des DVT-Röntgen betrug 100 x 100 mm (Diagonale x Höhe).

Für die Digitale Volumentomographie wurden die Humanpräparate ausgewählt, die die Vorauswahlkriterien aus den OPG-Röntgenbildern bestanden hatten. Von ursprünglich 108 Humanpräparaten wurden 47 Präparate für die DVT-Aufnahmen ausgewählt.

Die Gründe für die Durchführung von DVT-Aufnahmen sind einerseits die Knochenqualität zu bewerten und die genaue vertikale Knochenhöhe (4-8 mm) messen zu können, andererseits um Septen (Underwood-Septen), aber auch Malformationen der Kieferhöhle auszuschließen.



Abbildung 13, Abbildung 14 - DVT-Gerät + Aufnahme der Humanpräparate (Promax 3D Fa. Planmeca)

2.3.1 DVT Romexis Längenmessung

Für die Messungen der vertikalen Knochenhöhe, wurde die zum DVT-Gerät zugehörige Software Romexis (Planmeca) verwendet. Diese Bildbearbeitungssoftware stellte alle paraaxialen Ansichten in den zu messenden Schichten dar. Die Messungen der Knochenhöhe wurden mit der integrierten Längenmessfunktion durchgeführt.

Abbildung 15 zeigt ein Präparat mit einer vertikalen Knochenhöhe im 1. Quadranten von unter 4 mm, was einen Ausschlussgrund der Kieferhöhle für die Studie darstellt. Im 2. Quadranten wurde zwar eine Knochenhöhe von 7,99 mm gemessen, allerdings zeigt sich eine unklare Struktur, wodurch diese Kieferhöhle damit ebenso aus der Studie herausgenommen werden musste.

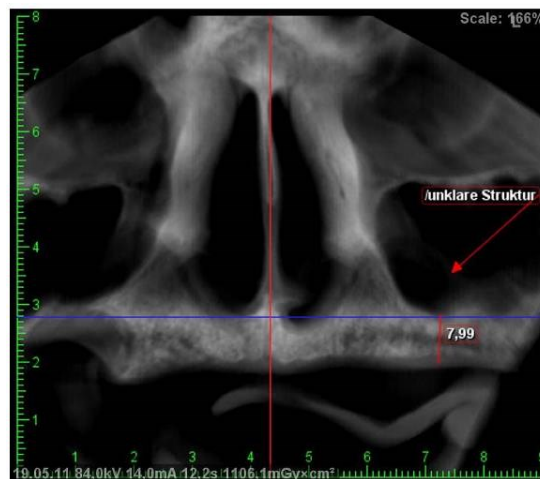


Abbildung 15 - DVT- Längenmessung Romexis-Software

Abbildung 16 zeigt auf beiden Seiten der KH, die gewünschte (4 - 8 mm) Knochenhöhe und eine klare anatomische Strukturen. Dieses Präparat wurde ausgewählt und für den CT-Scan vorbereitet.

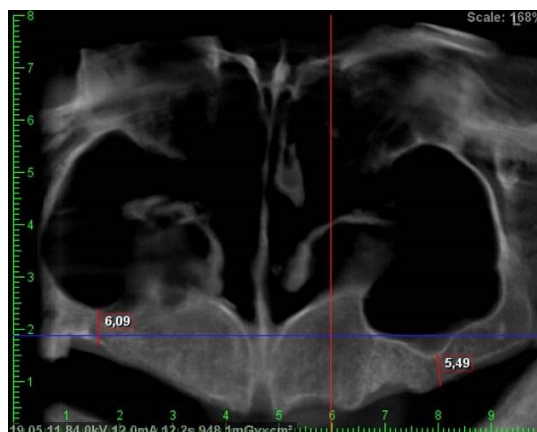


Abbildung 16 - DVT- Längenmessung Romexis-Software

2.4 Erstellen der Computertomogramme (CT-Scan)

Nachdem die 47 DVT-Röntgenbilder erstellt und die Längenmessungen abgeschlossen wurden, blieben nur noch 17 Humanpräparate (Schädel) mit insgesamt 25 Kieferhöhlen übrig, die die Kriterien zur Durchführung eines CT-Scans erfüllten. Das Humanpräparat Y 18 musste aus der Messreihe herausgenommen werden, da sein Konservierungszustand sich im Laufe der Studie zunehmend verschlechterte. Die Studie wurde an 16 Schädeln mit 23 intakten Kieferhöhlen weitergeführt. Das Ziel, 32 Kieferhöhlen zu gewinnen, wurde somit nicht erreicht. Die Anfertigung der CT-Scans von 16 Schädeln diente dem Zweck, das dreidimensionale Volumen der 23 augmentierten Areale zu berechnen. Dazu war es nötig, zwei CT-Scans durchzuführen. Einmal vor der Augmentation, als Bezugswert (reference values) und ein zweites Mal nach der Durchführung der Kieferhöhlengaugmentation; somit wurden in Summe 32 CT-Scans durchgeführt. Das erweiterte Volumen wurde anschließend mit der validierten Voxim Software berechnet. Die Anfertigung der CT-Scans erfolgte am Institut für Radiologie der Medizinischen Universität Graz, unter der Leitung von o.Univ.-Prof Richard Fötter. Die 16 Humanpräparate wurden im CT (Somatom® sensation cardiac 64 CT Scanner, Siemens AG, Bensheim, Deutschland) gescannt.

2.4.1 Einstellungen am Computertomographen

Die Anfertigung aller 32 Computertomogramme erfolgte immer mit den gleichen Einstellungen:

Scanprotokoll	„Trauma für NNH-Spirale“
<u>Scanmode</u>	HQ (high quality) Pitch 3 SD (Schichtdicke) 1,25 mm Increment 1,00 mm Speed 3,75 mm/rotation
<u>Kemel</u>	Bone Plus 140 KV, 240 mA
FOV	Field of view: 20cm

Tabelle 8 – Einstellungen am Computertomographen

2.4.2 CT-scan reference value (1. CT-Scan)

Am Beispiel des Humanpräparates F 65 ist der CT-Scan vor der Augmentation bildlich coronal in Abbildung 17 und axial in Abbildung 18 dargestellt. Es dient als Vergleichsmessung, aber auch als morphologische Kontrolle der Sinushöhle und der Schneider'schen Membran.



Abbildung 17 - Screenshot Präparat F 65 CT-Scan coronal Somatom cardiac 64

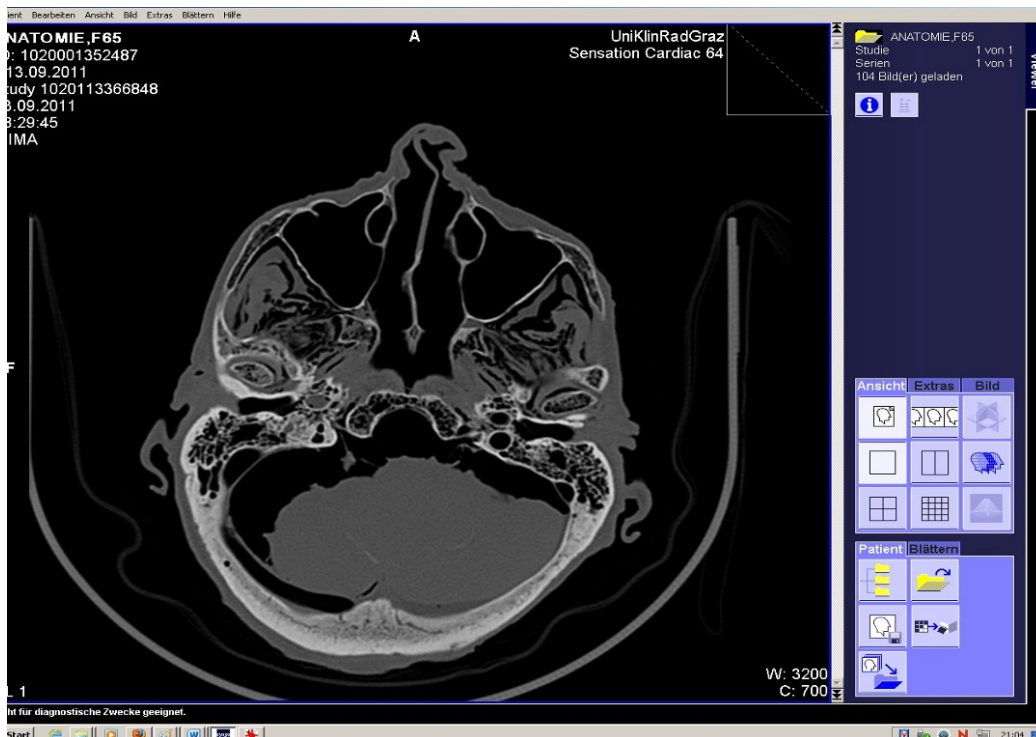


Abbildung 18 - Screenshot Präparat F 65 CT-Scan axial Somatom cardiac 64

2.5 Simulation der Augmentationen

Das Anheben der Sinusmembran sollte so schonend wie möglich sein, um eine eventuelle Perforation der Sinusmembran zu vermeiden. Auf der Testseite wurde mit der piezoelektrischen Technik die Implantatbohrung bis zur Sinusmembran präpariert. Die Piezotechnik schneidet vor allem auf Hartgewebe und schont dabei das Weichgewebe. Der tatsächliche Sinuslift erfolgte durch die Sinus Physiolift® Technik von Mectron, eine Katheter-Methode. Nachdem die Osteotomie mit der piezoelektrischen Technik präpariert worden war, wurde der Crestal Sinus Elevator CS 1 in die Bohrung eingeführt und mit einem Schlauch am Physiolifter® angeschlossen. Der Physiolifter® beinhaltete eine Spritze mit drei Milliliter Vaseline (Vaselinum Album Fa. Fagron) anstatt der üblichen Kochsalzlösung. Dadurch wurde vermieden, dass am Humanpräparat die Kochsalzlösung unkontrolliert durchsickerte.

Durch das langsame Drehen des Physiolifter® war es möglich, die Sinusmembran schonend anzuheben. Elf Sinusmembranen wurden mit dem Sinus Physiolift® angehoben. Auf der kontralateralen Seite wurde die Osteotomietechnik nach Summers angewendet (Kontrollseite).

Mit einem 5 mm Aufbereitungsbohrer wurde die Osteotomie bis ca. 2 mm vor der Sinusmembran durchgeführt. Anschließend wurde mit Osteotomen, mit leichten Hammerschlägen, die restlichen 2 mm Knochen in die Kieferhöhle vorgetrieben und somit die Sinusmembran angehoben. Mit der Osteotomietechnik wurden 12 Sinusmembranen angehoben.

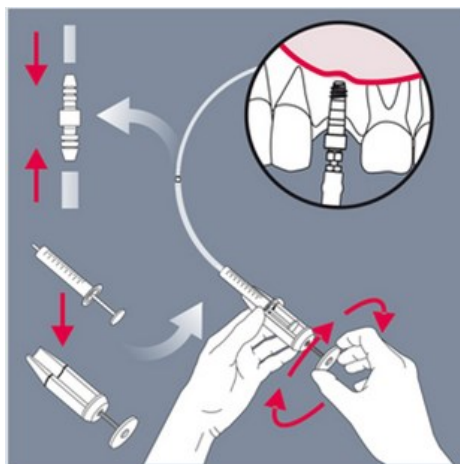


Abbildung 19 - Graphische Darstellung des Sinus Physiolift-Systems (Mectron Homepage, <http://www.mectron.com/Sinus-Physiolift-R.836.0.html>)



Abbildung 20 - Diamantierte Kugel des Piezosurgerygerätes



Abbildung 21 - Crestal Sinus Elevator CS 1



Abbildung 22 - Anheben der Schneider'schen Membran mit Vaseline

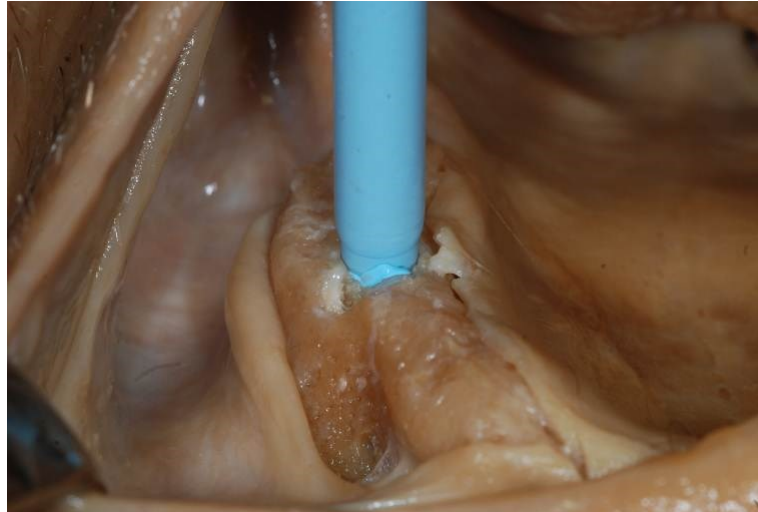


Abbildung 23 - Simulierte Augmentation der Kieferhöhle mit röntgenopakem Silikon (blau)

Die Abbildung 24 zeigt den CT-Scan nach der Durchführung der simulierten Augmentation der Kieferhöhle am Präparat Y 56.

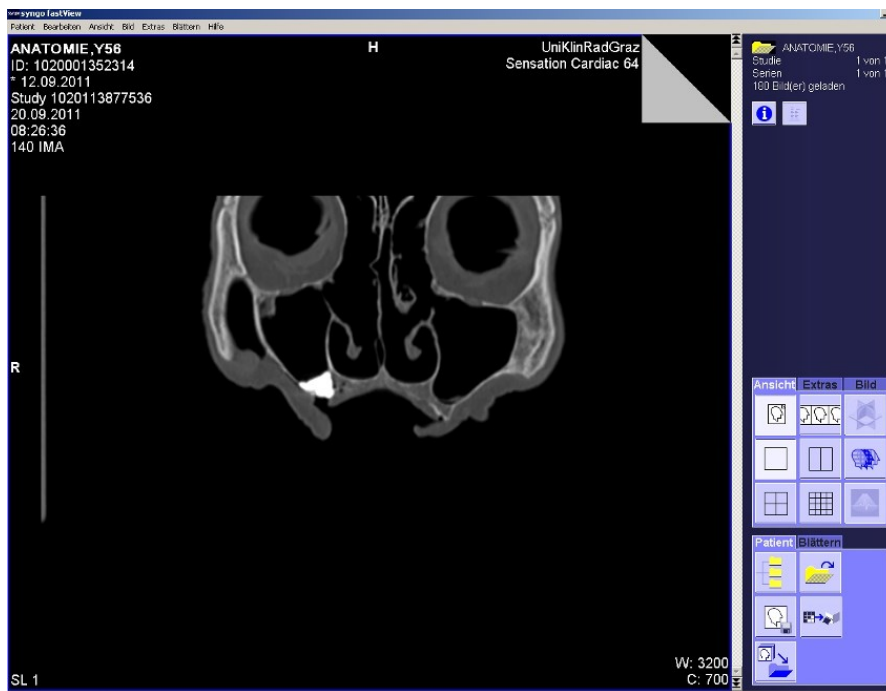


Abbildung 24 - CT-Scan nach simulierter Augmentation der KH am Präparat Y 56

2.6 Durchführung der Volumenmessung

Bei der Voxim Software (Chemnitz, Deutschland) handelt es sich um eine Software, mit welcher DICOM-Daten eingelesen werden können und mit welcher nach automatischer oder manueller Segmentation Volumina bestimmt werden können. In der vorliegenden Studie wurden die 3D-Bilder manuell segmentiert. In jeder einzelnen Schicht wurde hierbei die Fläche des Augmentats manuell eingezeichnet, wobei die Software durch Fusion der einzelnen Flächen korrespondierende Volumina rekonstruiert. Diese werden in Millimeter angegeben. Auf diese Weise wurde für jeden Sinuslift das entsprechende Volumen manuell berechnet. Abbildung 25 zeigt einen Screenshot, der am Präparat Y 91 augmentierten Kieferhöhle.

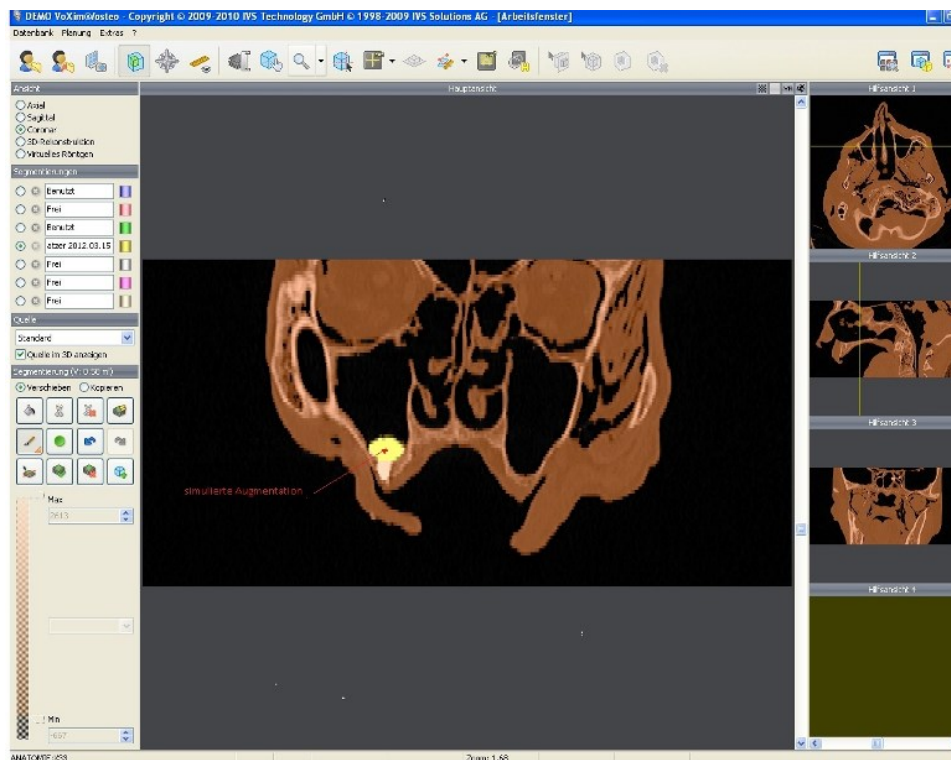


Abbildung 25 - Screenshot am Präparat Y 91 mit augmentierter Kieferhöhle (gelb)

Insgesamt wurden aus 16 Schädeln simulierte Augmentationen an 23 vorbehandelten Kieferhöhlen durchgeführt. Die Durchführung der einzelnen Volumenmessungen wurde manuell mit der Voxim Software erstellt. Die Volumenmessungen wurden von zwei Mitarbeitern der Studie durchgeführt. Jede Messreihe wurde mit zwei Kontrollmessungen (KM) wiederholt, was bedeutet, dass die Messreihe 3 Mal pro Mitarbeiter gemessen wurde.

Insgesamt wurden 69 Messungen durchgeführt und damit 36 Messergebnisse mit der Summer- Technik und 33 Messergebnisse mit der piezoelektrischen Technik erzielt. Die Methoden wurden untereinander mit dem intraclass correlation coefficient (ICC) auf Übereinstimmung getestet. Die dimensionslosen Werte des ICCs bewegen sich zwischen 0 und 1, wobei 0 keine Übereinstimmung und 1 auf klare Übereinstimmung deutet. In Anlehnung an Landis und Koch (1977) wurden die ICC-Werte auf einer 6-Punkte-Skala eingestuft und als fehlende Übereinstimmung (0,00), geringe Übereinstimmung (0,01-0,20), ausreichende Übereinstimmung (0,21-0,40), mäßige Übereinstimmung (0,41-0,60), erhebliche Übereinstimmung (0,61-0,80) und als annähernd perfekte Übereinstimmung (0,81-1,00) klassifiziert. (Landis, 1977)

Die Reproduzierbarkeit und Übereinstimmung der Messungen wurde mit der ICC-Methode (intraclass-correlation-coefficient) durchgeführt. Der Intraclass-Korrelationskoeffizient ist ein statistisches Verfahren zur Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen mehreren Beurteilern. Der ICC ist somit auch ein Maßstab für die Zuverlässigkeit der Messmethode.

Für den statistischen Vergleich der erhobenen Messwerte aus den zwei unterschiedlichen Verfahren, wurde der Mittelwert der beiden Messreihen herangezogen. Um die Messreihen aus beiden Augmentationstechniken auf einen signifikanten Unterschied zu prüfen, wurde der Mann-Whitney-Test angewendet.

3 ERGEBNISSE

3.1 Messprotokoll der Augmentationsvolumina

Tabelle 9 zeigt das augmentierte Volumen in cm^3 in den einzelnen Kieferhöhlen. In der linken Spalte finden sich die 12 Messergebnisse der Summer's Technik, in der rechten Spalte die 11 Messergebnisse der piezoelektrischen Technik. Die erste Messreihe diente als Referenzmessung (RM). Die weiteren zwei Messreihen dienten als Kontrollmessungen (1. KM, 2. KM) beziehungsweise als Verifizierungsmessungen.

Die Seite der Humanpräparate (rechte oder linke Kieferhöhle) wurde nicht berücksichtigt, weil keine signifikanten Seitendifferenzen der Kieferhöhle bekannt sind und es daher keine Relevanz auf das Ergebnis haben konnte. Von einigen Humanpräparaten wurde nur eine Kieferhöhle verwendet, weil die Aveolarkammhöhe der gegenüberliegenden Kieferhöhle zu gering war (unter 4 mm).

Der Schädel Y 18 wurde aus der Messreihe herausgenommen, da der Konservierungszustand sich im Laufe der Studie zunehmend verschlechtert hatte. Somit wurden aus 16 Schädeln insgesamt 23 Kieferhöhlen augmentiert. Die Tabelle 9 zeigt weiter Perforationen der Sinusmembran. Mit der piezoelektrischen Technik gab es drei Perforationen, mit der Osteotom Technik nach Summer eine Perforation.

Schädel	Summers RM	1.KM	2.KM	Piezo RM	1. KM	2.KM
Z 134	0,16	0,15	0,15	Perforation		
X 22	0,55	0,62	0,63	Perforation		
Y 97	0,08	0,08	0,08	0,45	0,42	0,44
F65	Perforation			0,05	0,05	0,05
Y 91	0,34	0,38	0,38	1,03	1,04	1,04
X 24	0,06	0,07	0,07	0,36	0,37	0,38
V 156	0,60	0,58	0,55	0,17	0,17	0,17
Z 59	0,45	0,46	0,46	0,08	0,09	0,08
X 109	0,09	0,11	0,09	0,79	0,81	0,82
Y 56	0,32	0,33	0,33	Restknochenhöhe zu niedrig		
Y 18	Präparat nicht verwendbar			Präparat nicht verwendbar		
X 33	Restknochenhöhe zu niedrig			0,54	0,52	0,52
S 02	0,30	0,32	0,33	Restknochenhöhe zu niedrig		
X 47	Restknochenhöhe zu niedrig			0,21	0,21	0,20
X 216	0,13	0,15	0,13	Perforation		
W 155	Restknochenhöhe zu niedrig			0,47	0,47	0,47
Y 54	0,35	0,36	0,35	0,08	0,08	0,08

Tabelle 9 - Detailliertes Messprotokoll, Volumina in cm³

3.2 Messergebnisse

Insgesamt wurden 69 Messungen durchgeführt und damit 36 Messergebnisse mit der Summer's- Technik und 33 Messergebnisse mit der piezoelektrischen Technik erzielt. Für das mittlere Augmentationsvolumen (Mittelwert) ergaben sich folgende Werte:

Summer's-Technik: $0,29 \text{ cm}^3 \pm 0,19 \text{ cm}^3$ ($0,07 \text{ cm}^3 - 0,60 \text{ cm}^3$)

Piezoelektrische Technik: $0,39 \text{ cm}^3 \pm 0,32 \text{ cm}^3$ ($0,05 \text{ cm}^3 - 1,04 \text{ cm}^3$)

Summer's-Technik ICC = 0,992 (95% Konfidenzintervall (0,980-0,998))

Piezoelektrische Technik ICC = 0,999 (95% Konfidenzintervall (0,998-1,000)).

Das entspricht einer starken Übereinstimmung.

Geschlecht und Seitendifferenzen wurden nicht erhoben.

3.2.1 ICC Intraclass-Korrelationskoeffizient

Der Intraclass-Korrelationkoeffizient ist ein statistisches Verfahren zur Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen mehreren Beurteilern. Der ICC ist somit auch ein Maßstab für die Zuverlässigkeit der Messmethode.

Der Koeffizient liegt zwischen 0 und 1, wobei die Übereinstimmung höher ist, je näher der Wert bei 1 liegt. In unserer Messreihe wurden ICC Werte von 0,992 bei Summers-Technik und ICC- Werte von 0,999 bei der Piezoelektrischen Technik berechnet. Das bedeutet eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den drei Messreihen für beide Techniken.

3.3 Signifikanztest

Technik	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Summers	12	0,07	0,60	0,29	0,19
Piezo	11	0,05	1,04	0,39	0,32

Tabelle 10 - Statistischer Vergleich der beiden Techniken

Für den statistischen Vergleich der erhobenen Messwerte aus den zwei unterschiedlichen Verfahren wurde der Mittelwert der beiden Messreihen herangezogen. Um die Messreihen aus beiden Augmentationstechniken auf einen signifikanten Unterschied zu prüfen, wurde der Mann-Whitney-Test angewendet. Der Mann-Whitney-Test zeigte mit einem $p=0,566$ keinen signifikanten Mittelwerts-Unterschied zwischen den beiden Techniken.

3.4 Box- and- Whiskers Plot

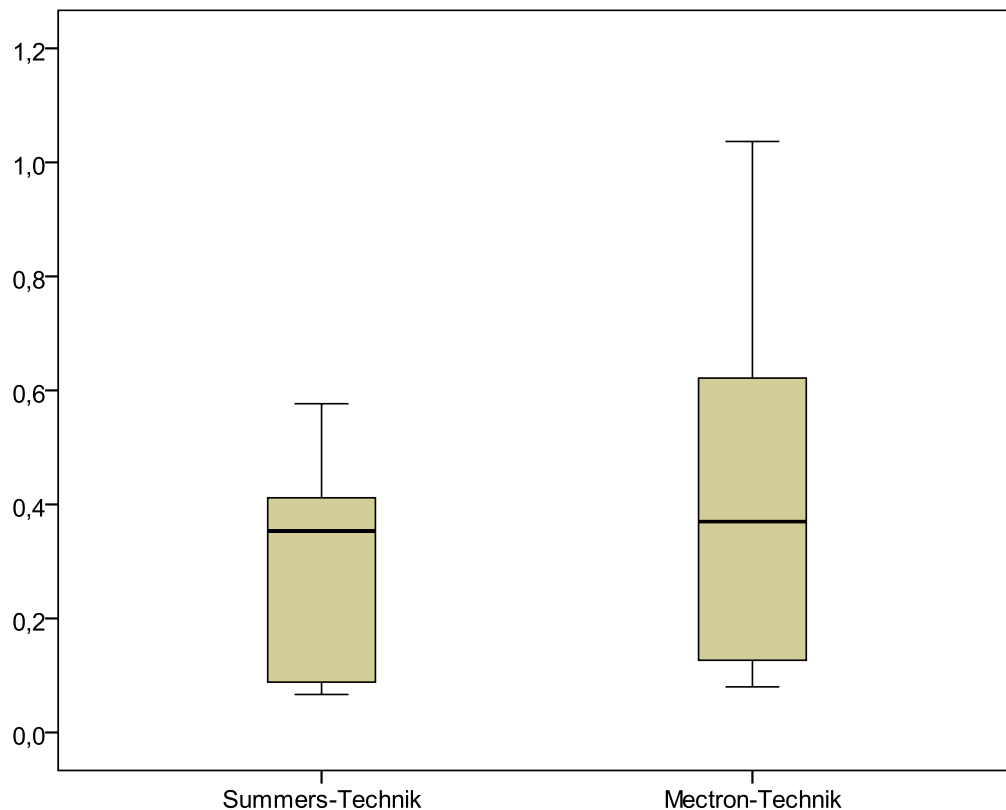


Abbildung 26 - Boxplot - Vergleich der Messergebnisse aus beiden Techniken

Die Volumenergebnisse wurden in Box-and-Whiskersplot in cm^3 dargestellt. Die Y-Scala ist zwischen 0 cm^3 und $1,2 \text{ cm}^3$, was die möglichen Minimal- und Maximalwerte aus beiden Messreihen entspricht. Die zwei Kontrollmessungen bzw. Verifizierungsmessungen die durchgeführt wurden, sind die der Referenzmessungen nahezu identisch (siehe Tabelle 10) Aus dem Boxplot ist zu entnehmen, dass der **Median** (50% Quartil) bei beiden Techniken fast gleich ist. Ebenso gibt es bei beiden Techniken keinen Ausreißer. Die **Whiskers**-Werte bei der Summers-Technik liegen zwischen $0,07 \text{ cm}^3$ und $0,60 \text{ cm}^3$ (Minimal und Maximalwerte ohne Ausreißer), bei der Mectron-Piezoelektrischen Technik liegen die Whiskers-Werte zwischen $0,09 \text{ cm}^3$ und $1,04 \text{ cm}^3$. Somit ist der Range, beziehungsweise die Bandbreite der Messergebnisse bei der piezoelektrischen Technik der Firma Mectron (Fa. Mectron, Carasco, Italien) größer.

4 DISKUSSION

Als Folge von Zahnverlust im Oberkiefer-Seitenzahnbereich atrophiert der Alveolarfortsatz individuell. Hinzu kommt, dass mit steigendem Lebensalter die Kieferhöhle hyperpneumatisiert. Für eine ausreichende Implantatverankerung ist eine vertikale Knochenhöhe von mindestens 7 mm erforderlich, welche bei atrophierten Alveolarknochen oft nicht gegeben ist (Browaeys H, 2013). In diesem Fall ist die Schaffung eines ausreichenden Implantatbettes durch Anlagerung von Knochenersatzmaterial oder Eigenknochen (Augmentation) notwendig. Im Oberkiefer haben sich dafür zwei Methoden etabliert: Der externe und der krestale Sinuslift. Ziel beider Techniken ist es, das reduzierte vertikale Knochenangebot unterhalb des Sinusbodens zu erhöhen. Die größte Gefahr dieser operativen Methoden ist die Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut. Wie eine Studie von Schwartz-Arad et al von 2004 zeigt, kommt es beim externen Sinuslift in 44% zu Perforationen und in 10% zu postoperativen Komplikationen, was sicher sehr hoch angesetzt ist (Schwartz-Arad, 2004). In einer in vivo-Studie von Fan Zhen et al 2012 wurden an 30 Patienten der krestale Sinuslift ausschließlich mit der piezoelektrischen Technik durchgeführt und 36 Implantate gesetzt. Dabei kam es zu einer Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut (Fan Zhen, 2012).

Das Ziel dieser experimentellen Studie war herauszufinden, welche der zwei angewendeten Methoden – Piezosurgery® Technik und Sinus Physiolift® (Testseite) oder die Summers´s- Technik (Kontrollseite) - für die Kieferhöhlenschleimhaut die schonendere Variante ist. Dazu wurden an 16 Humanpräparaten 23 simulierte Kieferhöhlengaugmentationen durchgeführt und die Funktionsweisen der Instrumente beider Techniken untersucht und miteinander verglichen. Um eine realitätsnahe Situation zu schaffen, wurde die Studie an Humanpräparaten durchgeführt. Ein Vergleich der durchgeführten Studie mit der aktuellen Literatur ist nur bedingt möglich, da es keine weiteren Studien gibt, welche beide Techniken an Humanpräparaten vergleicht. Die angewendete Summer's-Technik führte zu folgenden Augmentationsvolumina: $0,29 \text{ cm}^3 \pm 0,19 \text{ cm}^3$ ($0,07 \text{ cm}^3 - 0,60 \text{ cm}^3$). Im Vergleich dazu, führte die piezoelektrische Technik zu folgenden Augmentationsvolumina: $0,39 \text{ cm}^3 \pm 0,32 \text{ cm}^3$ ($0,05 \text{ cm}^3 - 1,04 \text{ cm}^3$). Der Intraclass-Korrelationskoeffizient ICC betrug bei der Summer's-

Technik: 0,992 (95% Konfidenzintervall 0,980-0,998). Im Vergleich dazu betrug der ICC bei der piezoelektrischen Technik 0,999 (95% Konfidenzintervall (0,998-1,000)). Die Ergebnisse beider Methoden zeigen eine starke Übereinstimmung die durch einen ICC-Wert der nahe bei 1 liegt, bestätigt werden. Der Mann-Whitney-Test zeigte mit einem $p=0,566$ keinen signifikanten Mittelwerts-Unterschied zwischen den beiden Techniken.

In Abhängigkeit von der Resthöhe des Alveolarknochens im atrophien Oberkiefer entscheidet sich die benötigte Augmentationshöhe. Bei einer vertikalen Restknochenhöhe von weniger als 4 mm sollte laut Literatur aufgrund der besseren Übersicht und Korrekturmöglichkeit der externe Sinuslift angewendet werden. Bei Knochenhöhen von über 4 mm können durch krestale Techniken ebenso vorhersagbare Ergebnisse erzielt werden (Woo, 2004; Jakse, 2012).

In der aktuellen Studie wurden die mittleren Augmentationsvolumina aus beiden Techniken verglichen. Daraus ergab sich für die piezoelektrische Technik ein Mittelwert von $0,39 \text{ cm}^3$ und bei der Augmentationstechnik nach Summer ein Mittelwert von $0,29 \text{ cm}^3$.

Die Frage, die man sich stellen kann, ist, ob bei der krestalen Sinusbodenelevation mit der piezoelektrischen Physiollift®-Technik durch die mehrdimensionalen oszillierenden Bewegungen des Arbeitsgerätes sowie der schonenden Hebung, ein höheres Anheben der Kieferhöhlenschleimhaut grundsätzlich möglich wäre. Dies ist eine Fragestellung, die im Rahmen von zukünftigen Arbeiten zu klären wäre.

In einer Studie von Stübinger et al aus dem Jahr 2008 wurde ersichtlich, dass die piezoelektrische Technik gerade für sensible Strukturen besonders gut geeignet ist. Aufgrund des Kavitationseffektes, der vom Kühlungssystem und durch die oszillierende Arbeitsspitze erzeugt wird, ist es eine schonende Methode für Weichgewebe, weswegen auch größere Augmentationshöhen durchgeführt werden konnten (Stübinger, 2008). Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass sich beim internen Sinuslift mit der piezoelektrischen Methode, vor allem durch die Anwendung der Sinus Physiolift® Methode, eine größere Variation der Messergebnisse ergeben hat. In einer Studie von Stelzle et al 2011 wurde gezeigt, dass mit einer angewendeten Ballon-Katheter Methode (BLC) die Sinusmembran um bis zu 10 mm angehoben werden kann. (Stelzle, 2011) Das bestätigen auch andere Literaturquellen (siehe Abbildung 8). Aufgrund der geringen Fallzahl in der vorliegenden Studie, ist die größere Variation der Messergebnisse bei der piezoelektrischen Technik im Vergleich zu der Osteotom-Technik nach Summer statistisch nicht aussagekräftig genug, um endgültige Rückschlüsse daraus ziehen zu können.

Perforationen der Kieferhöhlenschleimhaut stellen die größte Komplikation bei diesen operativen Methoden dar, gefolgt von Blutungen (Meleo, 2012). In der vorliegenden in vitro-Studie an Humanpräparaten ergaben sich bei 23 internen Kieferhöhlenaugmentationen insgesamt vier Perforationen der Sinusmembran. Davon waren drei in der Testgruppe und eine in der Kontrollgruppe zu verzeichnen. Ein Grund dafür könnte sein, dass eine bessere Kontrolle über die Handinstrumente eher mit der Osteotomie Technik vereinbar ist. Im Gegensatz dazu liegt die Stärke der piezoelektrischen Technik gerade in seiner gewebsselektiven Arbeitsweise, nämlich weichgewebsschonend zu sein. Eine mögliche Ursache für die Perforationen der Sinusmembran könnte auch der Konservierungszustand der Humanpräparate sein, der nicht bei allen Präparaten gleich war. Dafür gibt es vielfältige Gründe wie beispielsweise die Verklebung der Sinusmembran an den Kieferhöhlenboden, unterschiedliche Wandstärken der Schleimhaut, oder das durchschnittlich hohe biologische Alter von 74,2 Jahren, welches oft eine verminderte Elastizität der Sinusmembran bedeutet. Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant (exakter Test nach Fisher: $p = 0,156$). Das Ergebnis steht im Einklang mit der Literatur (Barone, 2008).

Ein Nachteil des krestalen Sinuslifts im Vergleich zur lateralen Methode ist die eingeschränkte Sicht des Operateurs sowie die klopfende Osteotomietechnik, die Patienten als unangenehm empfinden. Weiters besteht beim krestalen Sinuslift bei Perforationen der Sinusmembran keine Möglichkeit einer sofortigen Reparatur (Fan Zhen, 2012).

Diese Möglichkeit bietet der externe Sinuslift. Aufgrund der guten Draufsicht auf die Sinusmembran wird eine Perforation schnell erkannt und Reparaturmaßnahmen können sofort eingeleitet werden. Um beim krestalen Sinuslift eine Perforation der Schleimhaut reparieren zu können, muss man zum externen Sinuslift übergehen und zusätzlich Strukturen eröffnen (Fan Zhen, 2012).

Verwendet man beim krestalen Sinuslift anstatt der Osteotomietechnik die piezoelektrische Technik, so können die oben erwähnten Nachteile minimiert werden. Das Klopfen fällt weg und die Gefahr der Schleimhautverletzung sinkt. Wie schon erwähnt, wurde in einer in vivo-Studie von Fan Zhen et al 2012 an 30 Patienten der krestale Sinuslift ausschließlich mit der piezoelektrischen Technik durchgeführt und 36 Implantate gesetzt. Dabei kam es zu lediglich einer Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut, was ein sehr gutes Ergebnis ist und in weiteren Studien bestätigt werden muss (Fan Zhen, 2012).

Ein Vorteil des krestalen Sinuslifts, einer „minimal invasiven“ Technik, ist, dass es für den Patienten weniger traumatisch ist. Der Vergleich mit dem externen Sinuslift ergibt, dass dieser mit einem höheren operativen Aufwand verbunden ist und für den Patienten traumatischer und schmerzhafter ist, auch im Hinblick auf die postoperativen Schwellungen und damit verbundenen Schmerzen. Der enge und unübersichtliche operative Zugang über das Bohrloch des krestalen Sinuslifts setzt eine hohe Geschicklichkeit des Chirurgen voraus. Aber auch der höhere zeitliche Aufwand muss berücksichtigt werden.

Ein nicht minder bedeutender Faktor des krestalen Sinuslifts nach Summers ist die geringe Augmentationhöhe von etwa 4 bis 5 mm die möglich sind, wie eine Studie von Stelzle et al 2011 zeigt (Stelzle, 2011).

Die in unserer Studie erzielten mittleren Augmentationsvolumina von 0,29 cm³ mit der Summers- Technik und 0,39 cm³ mit der piezoelektrischen Technik ergaben statistisch keinen signifikanten Unterschied.

Betrachtet man beim krestalen Sinuslift den hohen Zeitfaktor, die geringeren Augmentationshöhen, die eingeschränkte Übersicht und die limitierte Möglichkeit, Patienten mit mehreren Implantaten gleichzeitig zu versorgen, so ist der klassische externe Sinuslift dem krestalen Sinuslift überlegen, welcher seit über 30 Jahren erfolgreich angewendet wird (Wallace, 2012).

5 KONKLUSION

Der krestale Sinuslift-Zugang in Kombination mit der piezoelektrischen Technik bietet einige Vorteile, die in der Oralchirurgie angewendet werden können. Einerseits ist sie minimal invasiv und dadurch bei einer Implantation von nur einem Implantat eine geeignete Methode. Andererseits entfällt das Klopfen durch das Osteotom mit der Summers-Technik, das als unangenehm empfunden wird und die Gefahr der Schleimhautperforation sinkt ebenso.

Bei den erzielten Augmentationsvolumina in der Kieferhöhle wurden keine signifikanten Unterschiede der beiden Techniken (Summers vs. Piezo) festgestellt.

Die piezoelektrische Technik kann somit als mögliche Alternative zur Summers-Technik zur Durchführung des krestalen Sinuslifts im Oberkieferseitenzahnbereich angesehen werden.

6 LITERATURVERZEICHNIS

Acham, S., Jakse, N. 2012. Perioperative Medikation bei zahnärztlich-chirurgischen Eingriffen. *Quintessenz*. 2012, S. 917-929.

Anitua, E., Orive, G., Aguirre, J.J. 2008. Five-year clinical evaluation of short dental implants placed in posterior areas: a retrospective study. *J Periodontol*. 2008, S. 42-48.

Barone, A. 2008. Osteotomy and membrane elevation during the maxillary sinus augmentation procedure. A comparative study, piezoelectric device vs conventional rotative instruments. *Clin. Oral Implant Res*. 19,. 2008, S. 511-515.

Bilhan, H. 2008. An alternative method to treat a case with severe maxillary atrophy by the use of angled implants instead of complicated augmentation procedures: a case report. *J Oral Implantol*. 2008, S. 47-51.

Boyne, P.J., James, R.A. 1980. Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *Journal of Oral Surgery*. Aug 1980, S. 613-617.

Browaeys H, Vandeweghe, S., Johansson, C.B., Jimbo, R., Deschepper, E., De Bruyn, H. 2013. The histological evaluation of osseointegration of surface enhanced microimplants immediately loaded in conjunction with sinuslifting in humans. *Clin Oral Implants Res*. 2013. 2013.

Bucher, O., Wartenberg, H. 1997. *Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen*. Bern : Verlag Hans Huber, 1997.

Cacaci, C., Neugebauer, J., Schlegel, A. et al. 2006. *Checklisten der Zahnmedizin: Orale Implantologie*. Stuttgart : Thieme, 2006.

Cady, W.G. 1964. Piezoelectricity: an introduction to the theory and applications of electromechanical phenomena in crystals. *Dover Publications, University of California*. 1964.

Cawood, J.I., Howell, R.A. 1988. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1988, 17, S. 232-236.

Chanavaz, M. 1990. Maxillary sinus: anatomy, physiology, surgery and bone grafting related to implantology. Eleven years of surgical experience (1979–1990). *Journal of Oral Implantology*. 1990, S. 199–209.

Chrcanovic, B.R., Pedrosa, A.R., Custodio, A.L. 2012. Zygomatic implants: a critical review of the surgical techniques. . *Oral Maxillofac Surg*. 2012.

Esposito, M., Grusovin, M.G., Kwan, S., Worthington, H.V., Coulthard, P. 2008. Interventions for replacing missing teeth: bone augmentation techniques for dental implant treatment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008.

Fan Zhen, Wang Fang, Sun Jing, Wang Zuolin. 2012. The Use of a Piezoelectric Ultrasonic Osteotome for Internal Sinus Elevation: A Retrospective Analysis of Clinical Results. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants, Volume 27, Issue 4* . 2012, S. 920-926.

Floyd, P., Palmer, P., Palmer, R. 1999. Dental implants: Radiographic technique. *British Dental Journal* 187. 1999.

Gerabek, W., Haage, B.D., Keil, G., Wegner, W. 2005. *Enzyklopädie Medizingeschichte*. Berlin : Walter de Gruyter, 2005.

Gradinger, R., Gollwitzer, H. 2006. *Ossäre Integration*. s.l. : Springer, 2006.

Grötz, K.A., Schmidt, B.L.J. 2011. *Piezo-Chirurgie in der zahnärztlichen Chirurgie – Update 2011*. Wiesbaden : Deutscher Ärzte-Verlag, Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift, 2011; 66 (6), 2011.

Grötz, K.A., Wagner, W. 2003. Leitlinie: Implantat-Versorgung zur oralen Rehabilitation im Zusammenhang mit Kopf-Hals-Bestrahlung. . *Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. 2003.

Hausamen, J. E., Machtens, E., Reuther, J. F., Eufinger, H., Kübler, A., Schliephake, h. 2012. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, 4. Auflage*. s.l. : Springer, 2012.

Hwang, D., Wang, H.L. 2006. Hwang D, Wang HL. Medical contraindications to implant therapy: part I: absolute contraindications. *Implant Dent*. 2006, S. 353-360.

- Jakse, N. 2012.** Skriptum Implantologie. 2012.
- Johnson, G.K., Slach, N.A. 2001.** Impact of tobacco use on periodontal Status. *Journal of Dent Educ.* 2001, S. 312-321.
- Khoury, F. 2009.** *Augmentative Verfahren in der oralen Implantologie 1., Auflage.* Berlin : Quintessenz, 2009.
- Lambrecht, J.T. 2004.** Intraorale Piezo-Chirurgie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed, Vol 114.* 2004.
- Landis, J.R. , Koch, G.G. 1977.** The measurement of observer agreement for categorical data. In: *Biometrics.* 33,. 1977, S. 159-174.
- Leite, A.F., Figueiredo, P.T., Melo, N.S. et al. 2006.** Bisphosphonate-associated osteonecrosis of the jaws. Report of a case and literature review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006, 102, S. 14-21.
- Lekholm U., Zarb G.A. 1985.** Patient selection and preparation. In: *Brånemark P-I, Zarb GA, Albrektsson T (eds). Tissue-Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry.* 1985, S. 199-210.
- Lobbezoo, F., Brouwers, J.E., Cune, M.S. et al. 2004.** Dental implants in tooth grinders. *Ned Tijdschr Tandheelkd 2004.* 2004, S. 85-90.
- Manfredini, D., Bucci, M.B., Sabattini, V.B. et al. 2011.** Bruxism: overview of current knowledge and suggestions for dental implants planning. *Cranio.* 2011, S. 304-312.
- Meleo, D., Mangione, F., Corbi, S., Pacifici, L. 2012.** Management of the Schneiderian membrane perforation during the maxillary sinus elevation procedure: a case report. *Ann Stomatol.* 2012.
- Minde, R., Schamsawary, S. 2008.** *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie: kurze Operationslehre.* s.l. : Deutscher Ärzte-Verlag, 2008.
- Misch, C. E. 1990.** *J Oral Implantol,* 7, 1. 1990, S. 9-17.
- Misch, C.E., Judy, K.W. 1987.** Classification of partially edentulous arches for implant dentistry. *Int J Oral Implantol.* 1987, S. 7-13.

Netter, F.H. 2011. *Atlas der Anatomie: Deutsche Übersetzung von Roland Mühlbauer (Netter Basic Science)*. s.l.: Urban & Fischer / Elsevier GmbH 5. Auflage, 2011.

Razavi, R., et al. 1995. Anatomic site evaluation of edentulous maxillae for dental implant placement. *Int J Prosthodont*, 4, 2. 1995, S. 90-94.

Reinert, S., Machtens, E. 2010. Erkrankungen der Nasennebenhöhlen. [Buchverf.] N., Ehrenfeld, M. Schwenzer. *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*. Stuttgart : Thieme, 2010.

Schiebler, T.H., Korf, H.W. 2007. *Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie*. s.l.: Steinkopff, 2007.

Schwartz-Arad, D., Herzberg, R., Dolev, E. 2004. The prevalence of surgical complications of the sinus graft procedure and their impact on implant survival. *Journal of Periodontology* 75. 2004, S. 511-516.

Schwenzer, N., Ehrenfeld, M. 2001. *Spezielle Chirurgie, Bd 2: Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde. Lehrbuch zur Aus- und Weiterbildung, Auflage: 3., aktualis. u. erw. A.* Stuttgart : Thieme, 2001.

Sharan, A., Madjar, D. 2008. Maxillary sinus pneumatization following extractions: a radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2008, S. 48-56.

Solar, P., Aro, G., Ulm, Ch., Bernhart, T. 1998. Die Auswirkungen des Zahnverlustes auf die Anatomie der Maxilla. *Schweiz Monatsschr Zahnme. Vol 108*. 1998, S. 871-875.

Solar, P., Geyerhofer, U., et al. 1999. Bloodsupply to the maxillary sinus relevant to sinus floor elevation procedures. *Clinical Oral Implants Research*. 1999.

Stammberger, H. 1986. Nasal and paranasal sinus endoscopy. *Endoscopy*. 1986, S. 213-218.

Stammberger, H., Zinreich, S.J., Kopp, W. et al. 1987. Surgical treatment of chronic recurrent sinusitis – the Caldwell-Luc versus a functional endoscopic technic. *HNO*. 1987, S. 93-105.

Stelzle, F., Benner, K.-U . 2011. Evaluation of Different Methods of Indirect Sinus Floor Elevation for Elevation Heights of 10 mm: An Experimental Ex Vivo Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. Volume 13, Issue 2, , Juni 2011, S. 124-133.

Stübinger, S., Landes, C., Seitz, O. 2008. Ultraschallbasiertes Knochenschneiden in der Oralchirurgie: eine Übersicht anhand von 60 Patientenfällen - Ultrasonic Bone Cutting in Oral Surgery: a Review of 60 Cases. *Ultraschall in Med, 29 (1)*. 2008, S. 66-71.

Summer, R.B. 1994. A new concept on maxillary implantat surgery: the osteotome technique. *Compendium 1994 a; 15*. 1994.

— **1994.** The osteotome technique. Part 3-Less invasive methods of elevating the sinus floor Sompendium 1994b;698-708. *Compendium 1994 b*. 1994, S. 698-708.

— **1995.** The osteotome technique. Part 4- Future site Development. *Compendium 1995; 16*. 1995.

Tatum, O.H. 1986. Maxillary and sinus implant reconstruction. *Dent. Clin. North Am*. 1986, S. 207-229.

— **1977.** Maxillary sinus grafting for endosseous implants. *Lecture, Alabama Implant Study Group, Annual Meeting Birmingham Al*. 1977.

Testori, T., Fabbro, M., Weinstein, R., Wallace, S. 2010. *Sinusbodenaugmentation- Chirurgische Techniken und alternative Konzepte*. Berlin : Quintessenz Verlag, 2010.

Testori, T., Galli, F., del Fabbro, M. 2012. *Sofortbelastung, Eine neue Ära der dentalen Implantologie*. s.l. : Quintessenz Verlags-GmbH, 2012.

Thiel, W. 2002. Ergänzung für die Konservierung ganzer Leichen nach W. Thiel. *Annals of Anatomy*. 2002, S. 267-269.

— **1992.** The preservation of the whole corps with natural color. *Annals of Anatomy*. 1992, S. 185-195.

van den Bergh, J.P., ten Bruggenkate, C.M., Disch, F.J., Tuinzing, D.B. 2000. Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clin Oral Implants Res.* 2000.

Van den Bergh, J.P.A., Bruggenkate, C.M., et al. 2000. Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clinical Oral Implants Resources.* 2000, S. 256-265.

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. *Int. J Periodontics Restorative Dent.* 2001.

Wallace, S.S., Froum, S.J. 2003. Effect of Maxillary Sinus Augmentation on the Survival of Endosseous Dental Implants. A Systematic Review. *Ann Periodontol.* 2003, S. 328-343.

Wallace, S.S., Tarnow, D.P., Froum, S.J., 2012. Maxillary sinus elevation by lateral window approach: evolution of technology and technique. *J Evid Based Dent Pract.* 2012, S. 161-171.

Wehrbein, H., Diedrich, P. 1992. Die fortschreitende Pneumatisation der basalen Kieferhöhle nach Extraktion und Lückenschluß. [Hrsg.] Urban & Vogel. *Fortschr. Kieferorthop.* 1992, 53 Nr. 2, S. 77-83.

Weiglein, A.H. 2012. Kopf, Cranium und Hals, Collum. [Buchverf.] F., Pera, F., Streicher, J. Anderhuber. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band, 19. Auflage.* s.l. : De Gruyter, 2012.

Wiltfang, J., Schultze-Mosgau, S., Nkenke, E., Thorwarth, M., Neukam, F.W., Schlegel, K.A. 2005. Onlay augmentation versus sinuslift procedure in the treatment of the severely resorbed maxilla: a 5-year comparative longitudinal study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005.

Woo, I., Le, B.T. 2004. Maxillary Sinus Floor Elevation: Review of Anatomy and Two Techniques. *Implant Dentistry, Volume 13, Number 1, Lippincott Williams & Wilkins.* 2004.

Zilles, K., Tillmann, B. 2010. *Anatomie.* s.l. : Springer, 2010.

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung Deckblatt - Pneumatisierter Sinus maxillaris - (Testori, 2010)

Abbildung 1 – Altersabhängige Ausdehnung von Sinus frontalis und maxillaris (Netter, 2011)..... 3

Abbildung 2 - Ausdehnung des Sinus maxillaris am Präparat F 65 CT-Bild coronal 4

Abbildung 3- Sinus maxillaris (Netter, 2011) 5

Abbildung 4- OK-Molar mit geringem Knochenangebot 10

Abbildung 5 - OK-Prämolar mit weitmaschiger Spongiosa 10

Abbildung 6 - Einteilung der Atrophie nach Cawood & Howell (1988)..... 13

Abbildung 7 - Knochenklassen von D1 bis D4 nach Lekholm und Zarb - (Lekholm U., 1985) (Floyd, 1999) 14

Abbildung 8 - Überblick über mögliche Argumentationshöhen bei indirekten Sinusliftverfahren übernommen von (Stelzle, 2011)..... 21

Abbildung 9 - Flussdiagramm der Studie 28

Abbildung 10 - OPG-Aufnahme der Humanpräparate (Orthophos XG Plus, Fa. Sirona)..... 29

Abbildung 11- Panoramaschichtaufnahme Humanpräparate S 145..... 30

Abbildung 12 - Panoramaschichtaufnahme des Humanpräparates F 65 30

Abbildung 13, Abbildung 14 - DVT-Gerät + Aufnahme der Humanpräparate (Promax 3D Fa. Planmeca)..... 31

Abbildung 15 - DVT- Längenmessung Romexis-Software	32
Abbildung 16 - DVT- Längenmessung Romexis-Software	32
Abbildung 17 - Screenshot Präparat F 65 CT-Scan coronal Somatom cardiac	64 34
Abbildung 18 - Screenshot Präparat F 65 CT-Scan axial Somatom cardiac	64 34
Abbildung 19 - Graphische Darstellung des Sinus Physioliift-Systems (Mectron Homepage, http://www.mectron.com/Sinus-Physioliift-R.836.0.html)	35
Abbildung 20 - Diamantierte Kugel des Piezosurgerygerätes	36
Abbildung 21 - Crestal Sinus Elevator CS 1	36
Abbildung 22 - Anheben der Schneider'schen Membran mit Vaseline	36
Abbildung 23 - Simulierte Augmentation der Kieferhöhle mit röntgenopakem Silikon (blau).....	37
Abbildung 24 - CT-Scan nach simulierter Augmentation der KH am Präparat Y 56	37
Abbildung 25 - Screenshot am Präparat Y 91 mit augmentierter Kieferhöhle (gelb)	38
Abbildung 26 - Boxplot - Vergleich der Messergebnisse aus beiden Techniken ..	44

8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 - Resorption der zahnlosen Maxilla nach Lekholm und Zarb	11
Tabelle 2 – Einteilung der Resorptionstadien nach Misch und Judy (1987)	12
Tabelle 3 - Präoperative Klassifikation der Oberkieferatrophie nach Vercellotti ...	12
Tabelle 4 – Atrophieklassen nach Cawood und Howell.....	13
Tabelle 5 - Knochenklassen nach Lekholm und Zarb (1985)	14
Tabelle 6 - Knochenklassen nach Misch	15
Tabelle 7 - Vor- und Nachteile unterschiedlicher Knochentransplantate sowie der Methode zur Knochendistraktion und zur gesteuerten Geweberegeneration in Anlehnung an Schwenzer et al. 2001 (Schwenzer, 2001).....	16
Tabelle 8 – Einstellungen am Computertomographen	33
Tabelle 9 - Detailliertes Messprotokoll, Volumina in cm ³	41
Tabelle 10 - Statistischer Vergleich der beiden Techniken.....	43