

Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. M. Hannig

Laterale Kieferkammaugmentation
Knochenblocktransplantation mittels Distanzschrauben nach Khoury
vs.
Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems®
Eine klinische randomisierte Vergleichsstudie

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

2020

vorgelegt von:
Sebastian Kasprzyk
geboren am 15.09.1980 in Albstadt

Tag der Promotion: 17.09.2020

Dekan: Prof. Dr. M.D. Menger

1. Berichterstatter: PD Dr. M. Korsch, M.A.

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. K. Freier

Diese Dissertationsschrift ist meiner Familie gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Zusammenfassung	1
1.1 Deutsche Zusammenfassung	1
1.2 Abstract	2
2 Einleitung.....	4
2.1 Literaturübersicht.....	6
2.1.1 Augmentative Methoden	6
2.1.2 Augmentationsmaterialien.....	7
2.1.3 Spenderregionen für autogenen Knochen	9
2.1.4 Augmentationserfolg.....	10
2.1.5 Postoperative Beschwerden nach Augmentation.....	11
2.2 Ziel der Arbeit	12
3 Material und Methode.....	14
3.1 Patienten und Studiendesign	14
3.1.1 Forensische Prüfung.....	16
3.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien.....	16
3.1.3 Patientenakquise und Aufklärung.....	17
3.1.4 Randomisierung.....	18
3.2 Operative Techniken.....	18
3.2.1 Augmentation	19
3.2.2 Implantation.....	22
3.3 Klinische Dokumentation.....	24
3.3.1 Postoperative Beschwerden.....	24

Inhaltsverzeichnis

3.3.2	Klinische Komplikationen.....	25
3.3.3	Radiologische Auswertung.....	26
3.4	Statistische Auswertung.....	29
4	Ergebnisse.....	30
4.1	Studienpopulation.....	30
4.2	Klinische Dokumentation.....	30
4.2.1	Kieferkambreiten.....	30
4.2.2	Operationszeiten.....	31
4.3	Postoperative Beschwerden.....	32
4.3.1	Spenderregion.....	32
4.3.2	Empfängerregion.....	33
4.3.3	Postoperative Analgetikadosierung.....	34
4.4	Klinische Komplikationen.....	35
4.4.1	Schwerwiegende Frühkomplikationen.....	36
4.4.2	Schwerwiegende Spätkomplikationen.....	36
4.4.3	Nicht-schwerwiegende Komplikationen.....	36
4.5	Radiologische Auswertung.....	38
4.5.1	Mesiales und distales Knochenniveau bezogen auf die Implantatschulter.....	38
4.5.2	Buccales Knochenniveau bezogen auf die Implantatschulter (buccale Rezession).....	38
4.5.3	Transversale Kieferkambreite.....	38
4.5.4	Buccale Knochenlamelle.....	38
5	Diskussion.....	42
5.1	Methodenkritik.....	42
5.1.1	Methodenwahl.....	42
5.1.2	Kritik an der Methode.....	42
5.2	Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur.....	43
5.3	Schlussfolgerungen.....	50

Inhaltsverzeichnis

6	Literaturverzeichnis	52
7	Publikationen.....	62
8	Danksagung.....	63
9	Lebenslauf.....	64
10	Anhang.....	66
	Anhang 1: Patienteninformation	66
	Anhang 2: Einverständniserklärung	67
	Anhang 3: Dokumentationsbögen für postoperative Beschwerden	68
	Anhang 4: Dokumentationsbogen für Schmerzmittelverbrauch.....	72

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Flussdiagramm	15
Abb. 2: Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury.....	23
Abb. 3: Schalentchnik des SonicWeld Rx Systems®	24
Abb. 4: Visuelle Analogskala (VAS) für Schmerzen	25
Abb. 5: Radiologische Auswertung	28
Abb. 6: Postoperative Beschwerden im Bereich der Spenderregion	33
Abb. 7: Postoperative Beschwerden im Bereich der Empfängerregion.....	34
Abb. 8: Durchschnittliche Analgetikadosierung.....	35
Abb. 9: Radiologische Auswertung eines Patienten aus Gruppe A.....	40
Abb. 10: Radiologische Auswertung eines Patienten aus Gruppe B.....	41

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einteilung gängiger Augmentationsmaterialien nach Herkunft und Eigenschaften, modifiziert nach Khoury	8
Tab. 2: Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten zum Zeitpunkt der Augmentation...30	
Tab. 3: Durchschnittliche Gesamtoperationszeit bei Augmentation (in Minuten).....31	
Tab. 4: Durchschnittliche Operationszeit zur retromolaren Knochenentnahme (in Minuten).31	
Tab. 5: Klinische Komplikationen.....37	
Tab. 6: Mittelwerte der transversalen Kieferkambbreite und der buccalen Knochenlamelle zu den Zeitpunkten der Basisuntersuchung (T0), nach Augmentation (T1), nach Implantation (T2) und ein Jahr nach Implantation (T3).	39

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse (analysis of variance)
CBCT	Digitale Volumentomographie (cone beam computed tomography)
df	Anzahl der Freiheitsgrade (degrees of freedom)
DVT	Digitale Volumentomographie
FPS	Face Pain Skala
GBR	Guided Bone Regeneration
ICC	Intra-Klassen-Korrelation (intraclass correlation)
♂	männlich
mg	Milligramm
min	Minute
mm	Millimeter
<i>N</i>	Anzahl
NRS	Numerische Ratingskala (numerical rating scale)
PDLLA	Poly-D-L-Laktid
SD	Standardabweichung (standard deviation)
VAS	Visuelle Analogskala (visual analog scale)
VRS	Verbale Ratingskala (verbal rating scale)

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Die vorliegende klinische Untersuchung diente dem Vergleich von zwei etablierten Knochenaugmentationstechniken, der Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury und der Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems®. Es handelt sich um eine prospektive, randomisierte Studie, die mit einfacher Verblindung durchgeführt wurde. Bei der Knochenblocktransplantation diente ausschließlich autologer Knochen als Augmentationsmaterial. Bei der Schalentechnik wurde zusätzlich Knochenersatzmaterial verwendet. Ziel der Untersuchung war festzustellen, ob sich die beiden Techniken hinsichtlich postoperativer Beschwerden, im Sinne von Schwellung und Schmerzen im Bereich von Spender- und Empfängerregion, unterscheiden. Des Weiteren sollte ermittelt werden, ob die beiden additiven Augmentationstechniken zu gleichwertigen Ergebnissen hinsichtlich des Augmentationserfolgs führten.

Insgesamt 30 Probanden (16 männlich, 14 weiblich), mit prothetischem Behandlungsbedarf nach Zahnverlust in der Oberkieferfront und einem transversalen Knochendefizit von mindestens 4 mm, wurden mittels Randomisierung in zwei Gruppen (Gruppe A: Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury; Gruppe B: Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems®) zu je 15 Probanden eingeteilt.

Die beiden Gruppen waren bezüglich Alters- und Geschlechtsverteilung homogen. Die postoperativen Beschwerden (Schmerzen und Schwellung) wurden anhand visueller Analogskalen von den Probanden beurteilt. Hierbei zeigten sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen. In den ersten 14 postoperativen Tagen lagen in beiden Gruppen die Werte für Schwellung über denen für Schmerz. Dieser Unterschied war während der ersten postoperativen Woche in der Spenderregion in Gruppe A und in der Empfängerregion in beiden Gruppen signifikant. Bezüglich des Schmerzmittelverbrauchs lagen zwischen den beiden Gruppen zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede vor.

Bei zwölf der insgesamt 30 Patienten traten im Ganzen 16 klinische Komplikationen auf.

In Gruppe A war ein Patient (7%) von einer Komplikation und in Gruppe B waren elf Patienten (73%) betroffen. Der Unterschied war signifikant. In Gruppe A trat ein Augmentatverlust (7%) auf. In Gruppe B traten fünf Augmentat- und zwei Implantatverluste (47%) auf. Diese Komplikationen wurden als schwerwiegend definiert. Der Unterschied war signifikant. In Bezug auf nicht-schwerwiegenden Komplikationen gab es ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen

den Gruppen. In Gruppe A trat eine Infektion (7%) auf. In Gruppe B traten fünf Dehiszenzen, eine Infektion sowie eine temporäre Nervverletzung (47%) auf.

Die Beurteilung des Resorptionsverhaltens des Augmentates sowie der buccalen Lamelle am Implantat erfolgte ein Jahr nach Implantation durch Auswertung der radiologischen Befunde anhand von DVTs. Hierbei zeigte sich, bezogen auf den Knochenabbau im mesialen, distalen und buccalen Bereich der Implantate sowie bezogen auf die durchschnittliche Dicke der buccalen Lamelle, kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Der durchschnittliche Knochenabbau im mesialen und distalen Bereich der Implantate betrug 0 mm in Gruppe A und 0,12 mm in Gruppe B. Der durchschnittliche buccale Knochenverlust betrug 1,90 mm in Gruppe A und 1,65 mm in Gruppe B. Alle Implantate, die keine schwerwiegenden Komplikationen aufwiesen, waren bei der Nachkontrolle ein Jahr nach Implantation klinisch unauffällig. Die vorliegende Studie konnte keine Reduktion von postoperativen Beschwerden durch den Einsatz von Knochenersatzmaterialien und somit reduzierter Invasivität bei der Knochenentnahme in der Spenderregion nachweisen. Insgesamt wurde die postoperative Schwellung von den Probanden als stärkere Beeinträchtigung als die postoperativen Schmerzen empfunden. In Bezug auf die Erfolgsrate ist die Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems[®] aufgrund der hohen Rate an schwerwiegenden Komplikationen im Vergleich zur Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury als weniger sicher anzusehen. Die Knochenblockaugmentation erwies sich im Vergleich als das überlegene klinische Augmentationsverfahren, das eine bessere Stabilität des rekonstruierten Implantationslagers aufweist.

1.2 Abstract

The present clinical study compares two well-established bone augmentation techniques, i.e. bone block grafts fixed at a distance after Khoury and the shell technique of the SonicWeld Rx System[®]. It is a prospective, randomized, single-blind study. The augmentation material for the bone block grafts was autogenous bone exclusively. For the shell technique bone substitute material was used additionally. The aim of the study was to find out if the two techniques differ as to postoperative complaints, i.e. swelling and pain in the donor and recipient regions. Moreover, the study was to show whether the two additive augmentation techniques will produce augmentation results of equal quality.

A total of 30 subjects (16 men, 14 women) with the need for prosthetic treatment after the loss of maxillary anterior teeth and a transverse bone deficit of at least 4 mm were divided in two groups by randomization (group A: bone block grafts fixed at a distance after Khoury, group B: shell technique of the SonicWeld Rx System[®]) with each group including 15 subjects.

Zusammenfassung

Regarding age and gender distribution, the two groups were homogeneous. The postoperative complaints (pain and swelling) were evaluated by the subjects on the basis of visual analog scales. The evaluation showed that there were no significant differences between the two groups at any point in time. In the first 14 postoperative days the swelling scores were higher than the pain scores in both groups. In the first postoperative week that difference was significant in the donor region in group A and in the recipient region in both groups. As to the use of analgesics, there were no significant differences between the two groups at any point in time.

Altogether, twelve of the 30 patients developed 16 clinical complications. In group A one patient (7 %) and in group B eleven patients (73 %) developed complications. The difference was significant. In group A there was one loss of the augmentation material. In group B there were five loss of augmentation material and two loss of implants. These complications were considered to be severe. The difference was significant. With regard to the non-severe complications there also were significant differences between the groups. In group A there was one infection (7%). In group B there were five dehiscences, one infection and one temporary nerve injury (47%).

The assessment of the resorption behavior of the augmentation material and the buccal plate at the implant followed one year after implantation by the evaluation of the radiological findings by means of CBCTs. With regard to the bone loss in the mesial, distal and buccal region of the implants and with regard to the average thickness of the buccal plate, no significant difference was found between the two groups. The average bone loss in the mesial and distal region of the implants was 0 mm in group A and 0.12 mm in group B. The average buccal bone loss was 1.90 mm in group A and 1.65 mm in group B. All implants not affected by serious clinical complications were without any pathological findings at the follow-up one year after implantation.

The present study did not show any reduction in postoperative complaints following the use of bone substitute material as a result of the less invasive bone harvesting in the donor region. In general, postoperative swelling was considered a greater discomfort by the patients than postoperative pain. As to the rate of success, the shell technique of the SonicWeld Rx System[®] is to be considered less reliable in comparison to bone block grafts fixed at a distance after Khoury due to the high rate of serious complications. In the comparison of the two techniques the bone block augmentation proved to be the superior clinical augmentation procedure providing greater stability of the reconstructed implant site.

2 Einleitung

Dentale Implantate sind eine wichtige Behandlungsoption für die funktionelle und ästhetische Rehabilitation teilbezahnter oder zahnloser Kiefer (Spiekermann, 1994). Ihre Anwendung wird jedoch eingeschränkt durch klinische Situationen, in denen der alveolare Restknochen für die Aufnahme von Implantaten nicht ausreicht und eine Primärstabilität nicht gewährleistet ist (Khoury F., 2009d; Spiekermann, 1994). Die Dimension des Alveolarknochens ist abhängig von seiner funktionellen Beanspruchung. Zahnverlust führt deswegen durch die fehlenden Stimuli des Sharpeyschen Halteapparates zu Knochenverlust (Rothamel et al., 2008; Tran Van et al., 1982). Innerhalb des ersten Jahres nach Zahnverlust wird eine horizontale Resorption des Alveolarknochens von circa 50 % und eine vertikale Resorption von durchschnittlich 1,5 mm beobachtet (Li und Wang, 2014; Schropp et al., 2003). Hierbei findet nahezu der gesamte vertikale sowie zwei Drittel des horizontalen Knochenverlustes innerhalb der ersten drei Monate nach dem Zahnverlust statt (Schropp et al., 2003).

Bei unzureichendem Knochenangebot sind vor der Implantation Maßnahmen zur Rekonstruktion des Kieferkammes angezeigt. Zu diesem Zweck sind in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche operative Techniken beschrieben worden, deren Ziel die klinische Verbreiterung beziehungsweise die Erhöhung des Kieferkamms ist.

Die technische Entwicklung der Kieferkammrekonstruktion konzentrierte sich darauf, durch Augmentation mit Knochen bzw. Knochenersatzmaterialien ein geeignetes Implantatlager zu schaffen. Die seit Jahrzehnten etablierte autogene Knochenblocktransplantation wird dabei nach wie vor als Goldstandard angesehen (Sakkas et al., 2017). Zur Gewinnung von Knochen- transplantaten sind zahlreiche intra- und extraorale Spenderregionen beschrieben worden (Chiapasco et al., 2009). Die Transplantation selbst ist mit dem Risiko biologischer Komplikationen behaftet. Häufig geht ein Teil des transplantierten Knochens durch Nekrose während der Einheilung verloren (Khoury F., 2009d). Das Überleben der transplantierten Zellen hängt von der Revaskularisation des Transplantates ab (Matsumoto et al., 2002). Die Revaskularisation und auch das Einwachsen vitaler knochenbildender Zellen verläuft in spongiösen Knochen- transplantaten schneller als in kompakten (Acocella et al., 2010; Albrektsson, 1980). Deswegen zeigt stark spongiöser Knochen aus dem Beckenkamm vielfach ideale Regenerationsergebnisse (Bllaca und Toci, 2016; Lehmijoki et al., 2016). Spongiöser Beckenkammknochen unterliegt jedoch während der Einheilung einer stärkeren Resorption als kortikaler oder kortikospongiöser Knochen des Unterkiefers (Zins und Whitaker, 1983).

Einleitung

Um die positiven Eigenschaften sowohl des kortikalen wie auch des spongiösen Knochens zu nutzen, wurde die **Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben** von Khoury entwickelt (Khoury, 2006). Hierbei wird von einem retromolar oder mental entnommenen Knochenblock eine dünne kortikale Knochenscheibe abgetrennt und mit Schrauben auf Distanz zum Lagerknochen fixiert. Der entstandene Spaltraum zwischen Knochenscheibe und Lagerknochen wird mittels partikuliertem Knochen aufgefüllt. Die Revaskularisation des partikulierten Materials verläuft schneller und besser als bei kompakten kortikalen bzw. kortikospongiösen Transplantaten (Albrektsson, 1980). Die hier eintretende rasche Regeneration sichert das Überleben vitaler Knochenzellen, wodurch der Resorption entgegengewirkt wird (Albrektsson, 1980; Takahashi N, 2002).

Die Entnahme von autogenen Knochentransplantaten aus der Spenderregion erfordert neben der Region der eigentlichen Implantation einen zweiten Operationssitus. Dieser kann mit zusätzlichen postoperativen Beschwerden und Komplikationen verbunden sein. Zur Reduktion beziehungsweise Vermeidung dieser Beschwerden kommen vermehrt Knochenersatzmaterialien zum Einsatz.

So beschreitet die **Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems®** einen ähnlichen Weg wie die Knochenblocktransplantation nach Khoury. Jedoch wird hier anstelle der Knochenscheibe eine resorbierbare Membran aus amorphem 50:50 Poly-D-L-Laktid (PDLLA) auf Distanz zum Lagerknochen fixiert (Iglhaut, 2009; Ludwig, 2009). Statt mit Schrauben erfolgt die Fixation mittels resorbierbarer Pins (Arnaud und Renier, 2009; Cristofaro MG, 2009; Eckelt et al., 2007; Iglhaut, 2009; Ludwig, 2009). Der Hohlraum zwischen Membran und Lagerknochen wird mit Knochenersatzmaterial gefüllt. Dem Knochenersatzmaterial kann mittels Siebbohrlochtechnik entnommener, partikulierter autogener Knochen beigemischt werden.

Da die verwendeten Materialien resorbierbar sind, müssen sie nach der Augmentateinheilung nicht entfernt werden. Des Weiteren wird durch den Einsatz von Knochenersatzmaterial die Entnahme großer Knochentransplantate vermieden. Auf diese Weise soll das Trauma und die damit verbundenen postoperativen Beschwerden reduziert werden.

Obwohl es sich bei der Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben (Khoury F., 2009a; Khoury, 2006) und der Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems® (Iglhaut, 2009; Ludwig, 2009) um etablierte Verfahren handelt, fehlen Vergleichsdaten hinsichtlich der Eingriffssicherheit und des langfristigen klinischen Erfolges.

Die vorliegende prospektiv randomisierte Studie soll einen Beitrag zur Beantwortung der Frage leisten, welche der beiden Techniken schonender und komplikationsärmer ist. Ferner soll

festgestellt werden, ob es Unterschiede in Bezug auf die Stabilität des rekonstruierten Implantationslagers gibt.

2.1 Literaturübersicht

2.1.1 Augmentative Methoden

Grundsätzlich gibt es drei Methoden, ein ausreichend breites Implantatlager zu erreichen. Zu diesen zählen additive, expansive und subtraktive Methoden.

Additive Methoden

Die Rekonstruktion erfolgt hierbei durch Auflagerung eines Augmentates in der zur Implantation vorgesehenen Region.

Zu den häufigsten additiven Methoden zählen die Blocktransplantation (Lee und Kim, 2015; Zadeh, 2004), die Guided Bone Regeneration (GBR) (Jung et al., 2013; Simion und Fontana, 2004; Zadeh, 2004) sowie die Augmentation mittels Titan-Mesh (Rasia-dal Polo et al., 2014).

Die Blocktransplantation besteht in der Auflagerung eines kompakten, blockförmigen Augmentates. Dieses wird in seiner Form so an den Lagerknochen angepasst, dass es flächig anliegt. Anschließend wird es dort primärstabil fixiert (Felice et al., 2009; Khoury F., 2009b; Lin et al., 1990). Die Fixation erfolgt in der Regel mittels Osteosyntheseschrauben, welche nach Einheilung des Augmentates bei der Implantation wieder entfernt werden können.

Die Guided Bone Regeneration verfolgt das Konzept, unter Zuhilfenahme von als Barrieren eingesetzten Membranen, die Regeneration von Knochen gezielt zu steuern. Das Konzept beruht auf der Erkenntnis, dass Weichgewebe schneller proliferiert als Knochen und somit ein sowohl von Knochen wie auch von Weichgewebe begrenzter Defekt eher von Weichgewebe ausgefüllt wird. Durch die mechanische Barrierefunktion einer Membran wird das Einwachsen des Weichgewebes in den Defekt verhindert und dem Knochen die Möglichkeit gegeben, in diesen Raum zu proliferieren und ihn aufzufüllen (Linde et al., 1993). Als Barriere können sowohl resorbierbare als auch nicht-resorbierbare Membranen verwendet werden (Retzepe und Donos, 2010; Urban et al., 2009; Urban et al., 2011). Resorbierbare Materialien bieten den Vorteil, dass nach Einheilung des Augmentates kein zusätzlicher Eingriff für die Materialentfernung anfällt (Bostman, 1994; Juutilainen et al., 1997; Retzepe und Donos, 2010; Rokkanen et al., 2000). Meist erfolgt eine Füllung des Defektraumes zwischen Membran und Lagerknochen mit Augmentationsmaterial (Retzepe und Donos, 2010).

Die Augmentation mittels Titan-Mesh unterscheidet sich von der GBR durch Verwendung von Titannetzen anstelle von Membranen. Die Netze sind dreidimensional formbar und bleiben formstabil. Sie werden mit Pins oder Osteosyntheseschrauben fixiert. Als Augmentationsmaterial wird autogener Knochen und / oder Knochenersatzmaterial verwendet (Rasia-dal Polo et al., 2014).

Expansive Methoden

Die Knochenverbreiterung erfolgt beim Bone Split durch vertikale Segmentosteotomie und Aufdehnung des hierdurch entstandenen Osteotomiespaltes. Die Implantation in den Spalt erfolgt entweder simultan, wobei eine Füllung des Spaltes mit Eigenknochen und / oder Knochenersatzmaterialien durchgeführt wird. Alternativ kann sie als sekundäre Implantation nach der Augmentateinheilung stattfinden. Die Erfolgsquoten liegen bei 98-100 %, wobei die häufigste Komplikation die Fraktur des bukkalen Segments ist (Chiapasco et al., 2009).

Subtraktive Methode

In manchen Fällen kann durch Resektion schmaler Kieferkammanteile eine Verlagerung des Implantatbettes in breitere Anteile des Kiefers erreicht werden (Korsch M, 2013). Diese Technik wird häufig bei zahnlosen Kiefern angewendet. Eine Implantation kann simultan und meist ohne weitere Augmentation erfolgen.

2.1.2 Augmentationsmaterialien

Augmentationsmaterialien werden nach ihrem Ursprung in autogene, allogene, xenogene und alloplastische eingeteilt. Ferner werden sie nach ihren Eigenschaften in osteogenetische, osteokonduktive und osteoinduktive unterschieden (Tab.1).

Tab. 1: Einteilung gängiger Augmentationsmaterialen nach Herkunft und Eigenschaften, modifiziert nach Khoury (Khoury F., 2009d)

Bezeichnung	Materialherkunft	Eigenschaften
autogen	vom selben Individuum	osteokonduktiv, osteoinduktiv und osteogenetisch
allogen	von derselben Spezies	osteokonduktiv, nach geeigneter Aufbereitung osteoinduktiv
xenogen	von einer anderen Spezies	osteokonduktiv
alloplastisch	synthetisch oder halbsynthetisch hergestelltes Fremdmaterial	osteokonduktiv

Sämtliche Verfahren der Knochenrekonstruktion beruhen auf den Grundprinzipien der Osteogenese, der Osteokonduktion und der Osteoinduktion.

Abhängig von der Verwendung des Augmentationsmaterials kommen diese Grundprinzipien einzeln oder kombiniert zur Anwendung.

Bei der Osteogenese wird neuer Knochen durch vitale Knochenzellen gebildet, die in das zu regenerierende Areal transplantiert wurden. Osteokonduktion beschreibt die Neubildung von Knochen durch Bereitstellung einer Leitschiene, welche der Anlagerung von einwachsendem Knochen dient (Albrektsson und Johansson, 2001). Die Osteoinduktion regt die Teilung und Differenzierung ortsständiger Knochen- und undifferenzierter Mesenchymzellen an und induziert somit die Bildung von neuem Knochen (Albrektsson und Johansson, 2001).

Autogenes Material

Autogenes Augmentationsmaterial ist Material, bei dem Spender und Empfänger identisch sind. Eine antigene Reaktion des Empfängers sowie eine Übertragung von Infektionskrankheiten kann deswegen ausgeschlossen werden.

Alleinstellungsmerkmal der autogenen Knochentransplantate ist, dass alle drei Mechanismen der Knochenneubildung erfüllt sind. Sie sind osteogenetisch, osteoinduktiv und osteokonduktiv. Daher gilt die autogene Knochentransplantation auch als „Goldstandard“ (Sakkas et al., 2017).

Allogenes Material

Allogenes Augmentationsmaterial stammt von einem anderen Individuum derselben Spezies. Allogene Knochentransplantate können von zertifizierten, humanen Knochenbanken bezogen werden. Die Transplantate stammen von Lebendspendern, Multiorganspendern oder Leichen.

Bei einem Großteil der Knochen von Lebendspendern handelt es sich um Femurköpfe, welche bei der Implantation von künstlichen Hüftgelenken entnommen werden (Delloye et al., 2007). Der Vorteil gegenüber autogenen Transplantaten ist die Verfügbarkeit in großen Mengen sowie die Vermeidbarkeit eines zweiten Operationssitus zur Entnahme. Die Übertragung von Krankheiten kann jedoch nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden (Delloye et al., 2007; Simonds et al., 1992).

Allogene Transplantate sind osteokonduktiv und können, abhängig von der Verarbeitung, osteoinduktiv sein (Delloye et al., 2007).

Xenogenes Material

Xenogene Transplantate stammen von einer anderen Spezies. Sie können porcinen, bovinen oder phylogenen Ursprungs sein. Xenogenes Knochenersatzmaterial ist osteokonduktiv und steht in großen Mengen zur Verfügung (Traini et al., 2008). Eine Infektion durch Übertragung von Prionen, wie beispielsweise bei der Creutzfeldt-Jakob-Erkrankung, kann nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden (Kim et al., 2013).

Alloplastisches Material

Alloplastische Materialien sind synthetischen Ursprungs. Folglich handelt es sich nicht um Transplantate, sondern um Implantate. Hierzu zählen Silikate, Polymethylmethacrylate, Tricalciumphosphate und synthetische Hydroxylapatite (Pryor et al., 2009). Aufgrund der synthetischen Herstellung ist eine unbegrenzte Verfügbarkeit gegeben und eine Übertragung von Infektionskrankheiten eines Spenders ausgeschlossen.

2.1.3 Spenderregionen für autogenen Knochen

Zur Entnahme von autogenen Knochentransplantaten stehen verschiedene Regionen zur Verfügung. Unterschieden werden intraorale und extraorale Spenderregionen. Die häufigsten intraoralen Spenderregionen sind die Retromolarregion im Bereich der Linea obliqua externa und das Mentum (Khoury F., 2009a; Levin et al., 2007). Vergleichende Studien hinsichtlich dieser beiden Entnahmeregionen haben erwiesen, dass die Knochenqualität die gleiche und die -quantität vergleichbar ist (Chiapasco et al., 2009). Das Risiko für Sensibilitätsstörungen bei der Entnahme von Knochen aus der Mentalregion ist jedoch deutlich höher als bei der Entnahme aus der Retromolarregion (Chiapasco et al., 2009). In manchen Fällen wird auch Knochen aus dem Bereich der Crista zygomatico-alveolaris (Sakkas et al., 2017), des Tubers (Khojasteh et al., 2016) oder der Spina nasalis anterior (Cho et al., 2013) entnommen. Zu den häufigsten extraoralen Spenderregionen zählen Beckenkamm, Schädelkalotte und Tibia (Chiapasco et al., 2009;

Khoury F., 2009c).

Befindet sich das Augmentatlager nicht in direkter nachbarschaftlicher Lage zu einer geeigneten Spenderregion, bedingt die Verwendung von autogenem Knochen einen separaten Operationssitus zur Entnahme. Intraorale Knochenentnahmen sind in der Regel unter Lokalanästhesie möglich. Extraorale Knochenentnahmen sind meist nur unter stationären Bedingungen durchführbar und gehen mit einer hohen Morbidität einher (Palmer et al., 2008). Die Menge intraoral gewinnbaren Knochens ist im Vergleich zu dem extraoral verfügbaren deutlich reduziert. Zins und Whitaker zeigten, dass autogene Knochentransplantate zur Rekonstruktion von Knochendefekten im Bereich der Kiefer einer deutlich stärkeren Resorption unterliegen, wenn sie aus einer anderen Körperregion als aus dem Schädel- oder Kieferbereich stammen (Zins und Whitaker, 1983).

2.1.4 Augmentationserfolg

Wie zuvor beschrieben ist das Ziel von augmentativen Maßnahmen in der dentoalveolären Implantologie die Rekonstruktion des Implantatlagers zur Aufnahme von Implantaten. Als Augmentationserfolg wird die Erreichung dieses Ziels gewertet (Donos et al., 2008).

Vollständige oder partielle Augmentatverluste, die weitere bzw. erneute augmentative Maßnahmen erforderlich machen, werden als Misserfolge gewertet. Zur Beurteilung von Langzeiterfolgen können die Überlebensraten von Implantaten in augmentierten Arealen herangezogen werden (Chiapasco et al., 2009; Donos et al., 2008; Keestra et al., 2016).

Alternativ zur Implantatüberlebensrate kann die Erfolgsrate von Implantaten als Kriterium verwendet werden. Albrektsson et al. schlugen folgende Kriterien zur Beurteilung von Implantaterfolgen vor (Albrektsson et al., 1986): Abwesenheit von andauernden Schmerzen, von Gefühlsstörungen, von periimplantären Entzündungen mit Suppurationen, von Implantatbeweglichkeit und von periimplantärer Radioluzenz sowie einem maximalen crestalen Knochenverlust von 1,5 mm im ersten Jahr nach Belastung und 0,2 mm pro Jahr in den Folgejahren. Eine Übersichtsarbeit von Keestra et al. über Augmentationserfolge verschiedener Augmentationstechniken inkludierte 51 Studien mit 1257 Patienten und 3719 Implantaten (Keestra et al., 2016). Die Implantatüberlebensraten betragen 94,7 % bei Knochenblockaugmentationen (2155 Implantate) und 99,3 % bei GBR (347 Implantate). 28 dieser 51 Studien evaluierten die Implantaterfolgsrate. Diese betrug 93,2 % bei Knochenblockaugmentationen und 90,7 % bei GBR.

Zur Vermessung des Knochens stehen, neben der direkten intraoperativen Messung, bildgebende Verfahren zur Verfügung. Hierzu zählt die Digitale Volumetomographie (DVT)

(Benavides et al., 2012; Economopoulos et al., 2012). Die Digitale Volumentomographie ist, im Gegensatz zur herkömmlichen Röntgendiagnostik, zur dreidimensionalen Darstellung von Knochen im Kopf- und Kieferbereich geeignet (Benavides et al., 2012). Zudem korreliert die anhand von DVTs ermittelbare Knochendichte mit der Primärstabilität bzw. dem Drehmoment beim Einbringen von Implantaten und lässt somit Rückschlüsse auf die Knochenqualität zu (Isoda et al., 2012). Des Weiteren ist nach Implantation eine geeignete dreidimensionale Darstellung und Beurteilung des periimplantären Knochens einschließlich der buccalen Lamelle und somit des Implantaterfolges möglich (Naitoh et al., 2010). Mit einer herkömmlichen zweidimensionalen Röntgendiagnostik kann der Augmentations- und Implantationserfolg hingegen nur eingeschränkt beurteilt werden.

2.1.5 Postoperative Beschwerden nach Augmentation

Zu den postoperativen Beschwerden nach Augmentation zählen Schmerzen (Andersson, 2008) und Schwellungen (Cordaro et al., 2011).

Nur in wenigen randomisierten implantologischen Studien wurden postoperative Beschwerden evaluiert. Urban und Wenzel untersuchten bei 92 Patienten postoperative Schmerzen und Schwellungen nach Sofortimplantation im Molarenbereich unter Verwendung verschiedener simultaner Augmentationstechniken (Urban und Wenzel, 2010). Die Augmentationen erfolgten entweder mit autogenen Knochenchips oder mit einer resorbierbaren, kreuzvernetzten Kollagenmembran (Ossix-Membran) oder in Kombination autogener Knochenchips mit einer Ossix-Membran. Die Maxima der postoperativen Schmerzen und Schwellungen traten am ersten postoperativen Tag auf. Zwischen den drei Augmentationstechniken war kein signifikanter Unterschied erkennbar. Es zeigte sich jedoch eine erhöhte Schmerzempfindung bei Rauchern im Vergleich zu Nichtrauchern. Nkenke et al. verglichen bei 20 Patienten lediglich die Beschwerden zwischen der Knochenentnahme in der Spenderregion und der Implantation in der Empfängerregion während der Operation (Nkenke et al., 2002). Die Implantation erfolgte hierbei simultan mit der Augmentation. Die Beschwerden im Bereich der Implantation wurden als signifikant stärker empfunden als im Bereich der Knochenentnahme. Beide Studien verwendeten die Visuelle Analogskala zur Graduierung der Beschwerden.

Zur Klassifizierung und Graduierung postoperativer Beschwerden stehen verschiedene Messskalen zur Verfügung. Hierzu gehört die Visuelle Analogskala (VAS), die Numerische Ratingskala (NRS), die Verbale Ratingskala (VRS) und die Face Pain Skala (FPS) (Ferreira-Valente et al., 2011; Gkotsi et al., 2012; Hawker et al., 2011).

Bei der VAS und der NRS handelt es sich um lineare Skalen zur Graduierung der Intensität der

Beschwerden. Die jeweilige Skala besteht aus einer 100 mm langen Linie (Gkotsi et al., 2012; Hawker et al., 2011). Die VAS hat keine Skalierung. Entsprechend der zu graduierenden Beschwerde (z. B. Schmerz) werden der Anfangspunkt der Linie mit dem Minimum (keine Schmerzen) und der Endpunkt mit dem Maximum der Beschwerde (maximal vorstellbarer Schmerz) belegt. Der Patient wird angewiesen, mittels Strichmarkierung auf der Linie die subjektive Einstufung der Intensität seiner Empfindung zu dokumentieren. Die Länge der Strecke zwischen Anfangspunkt der Linie und der Strichmarkierung stellt das Maß zur objektiven Graduierung dar. Die NRS ist mit den Zahlen 0 bis 10 im Abstand von 10 mm skaliert, wobei 0 den Anfangspunkt und 10 den Endpunkt der Skala belegen. Der Wert 0 steht für die Inexistenz von Beschwerden und der Wert 10 für die maximal vorstellbare Intensität der Beschwerden. Die subjektive Graduierung erfolgt durch Markierung einer der Zahlen zwischen 0 und 10. Bei der VRS wird dem Patienten eine Liste mit Adjektiven vorgegeben, anhand derer die Beschwerden beschrieben werden sollen (Ferreira-Valente et al., 2011; Gkotsi et al., 2012). Diese sind beispielsweise „keine, leichte, mittlere, starke“. Zur statistischen Auswertung wird jedem dieser Adjektive jeweils eine Zahl zugeordnet. Die FPS arbeitet ebenfalls mit Adjektiven. Diesen ist jeweils eine Skizze eines Gesichtes zugeordnet. Diese Gesichter stellen entspannte bis stark schmerzverzerrte Mimik dar (Ferreira-Valente et al., 2011). Im Gegensatz zu Schmerzen, für welche ausschließlich eine subjektive Darstellung möglich ist, können Schwellungen auch anhand von klinischen oder sonographischen Messungen objektiv dargestellt werden (Schultze-Mosgau et al., 1995).

2.2 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Studie zielte auf den Vergleich von zwei etablierten, additiven Knochenaugmentationstechniken, der Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury (Khoury, 2006) und der Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems® (Burger, 2010). Dabei sollte geklärt werden:

1. Unterscheiden sich die Techniken hinsichtlich der postoperativen Beschwerden? Insbesondere sollte festgestellt werden, ob durch den zur Knochenentnahme erforderlichen Eingriff am Spenderort, welcher bei der Knochenblocktransplantation deutlich invasiver ist als bei der Schalentechnik, eine höhere Belastung durch Schmerzen und Schwellungen zu verzeichnen war.
2. Es sollte erörtert werden, welche Art der postoperativen Beschwerden Patienten am stärksten beeinträchtigen.

Einleitung

3. Es sollte erhoben werden, ob die beiden additiven Augmentationstechniken zu gleichen Ergebnissen hinsichtlich des Augmentationserfolgs führen. Hierfür sollten die klinischen Komplikationen und das Ausmaß der Resorption der Augmentate während der Einheilung und ein Jahr nach implantologischer Versorgung verglichen werden.

3 Material und Methode

3.1 Patienten und Studiendesign

Die vorliegende Untersuchung ist eine prospektive, einfachblinde, randomisierte klinische Studie. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zwischen September 2011 und September 2012 bei insgesamt 30 Patienten mit ausgedehnten horizontalen Knochendefiziten laterale Knochenaugmentationen durchgeführt (Abb. 1). Als Augmentationstechniken dienten die Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury und die Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems® (KLS Martin Group, Tuttlingen). Die Durchführung der Studie erfolgte an der Akademie für Zahnärztliche Fortbildung Karlsruhe in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki (Revision vom Oktober 2008).

Material und Methode

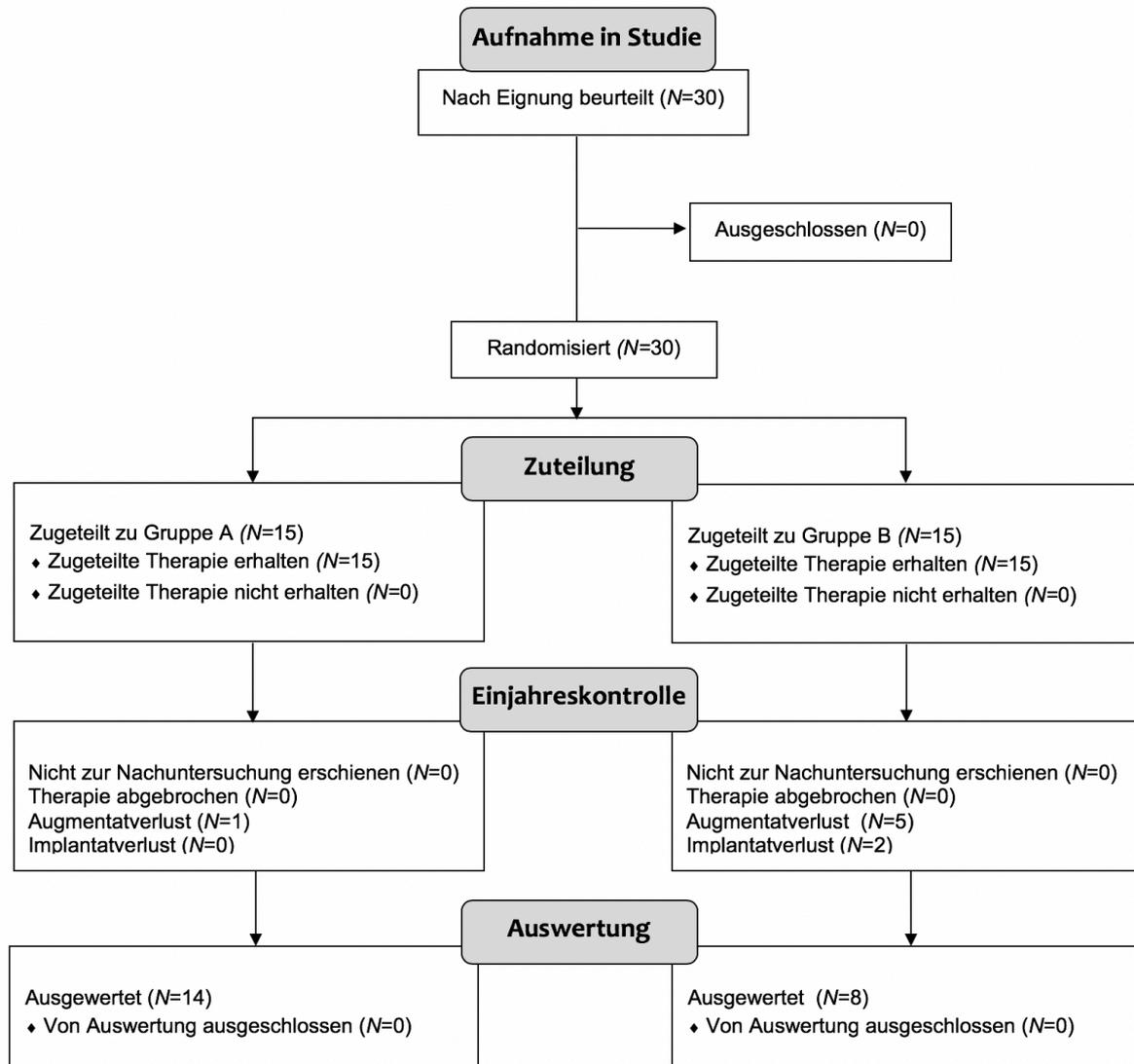


Abb. 1: Flussdiagramm

Sämtliche Patienten sind zur Einjahreskontrolle erschienen. Jedoch war die Auswertung aufgrund eines Augmentatverlustes in Gruppe A und fünf Augmentatverlusten in Gruppe B sowie zwei Implantatverlusten in Gruppe B in acht Fällen nicht möglich.
 $N = \text{Anzahl}$

3.1.1 Forensische Prüfung

Das Vorhaben wurde vor Studienbeginn von der Ethik-Kommission der Ärztekammer des Saarlandes überprüft. Unter der Kenn-Nr. 241/10 erfolgte am 15.06.2011 der Beschluss, dass unter Bezugnahme auf § 2 des Status der Ethik-Kommission bei der Ärztekammer des Saarlandes hinsichtlich der Durchführung des beabsichtigten Forschungsvorhabens keine Bedenken bestanden.

3.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Einschlusskriterien waren:

- ein Zahnverlust in der Oberkieferfront (regio 13-23) mit prothetischem Behandlungsbedarf,
- die Indikation zur implantologischen Versorgung,
- ein transversales Knochendefizit von mindestens 4 mm,
- ein Mindestalter von 18 Jahren,
- ein abgeschlossenes Körperwachstum.

Die Beurteilung des Knochendefizits erfolgte durch virtuelle Implantatplanung anhand eines im Rahmen der Basisuntersuchung angefertigten DVTs. Hierbei wurde für den periimplantären Knochen eine Knochendicke von 1,5 mm im vestibulären und oralen Bereich als Minimalanforderung definiert. Das bedeutete bei einem Implantatdurchmesser von 4,0 mm eine erforderliche Kieferkambbreite bei Implantation von mindestens 7 mm. Das Knochendefizit errechnet sich folglich aus der erwünschten Kieferkambbreite von 7 mm abzüglich der originären Kieferkambbreite zum Zeitpunkt der Basisuntersuchung.

Ausschlusskriterien stellten dar:

- Patienten mit allgemeinen Systemerkrankungen,
- Tumorleiden,
- Therapie mit Bisphosphonaten,
- Therapie mit blutgerinnungshemmenden Medikamenten,
- Suchterkrankungen,
- Erkrankungen aus dem Formenkreis der Psychosomatik,
- Patienten mit niedriger Compliance.

3.1.3 Patientenakquise und Aufklärung

Alle Patienten, auf welche die Einschlusskriterien zutrafen und die von den Ausschlusskriterien nicht betroffen waren, wurden persönlich aufgeklärt über:

Befund und Diagnose

Im Rahmen eines implantologischen Aufklärungsgesprächs wurde dem Patienten die Befundsituation (transversale Knochenatrophie) anhand eines DVTs sowie intraoral dargestellt. Durch Skizzen wurde den Patienten die Notwendigkeit einer Augmentation vor Implantation erläutert. Die operativen Einzelschritte der Knochenblocktransplantation mittels Distanzschrauben nach Khoury und der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems® wurden mithilfe von Modellen und Skizzen vermittelt.

Alternative Verfahren

Alternative Operationstechniken, wie rein kortikale Knochenblocktransplantate und Bonesplits sowie alternative prothetische Versorgungsmöglichkeiten (Brücken- oder Prothesenversorgung), wurden dem Patienten dargestellt.

Risiken

Als mögliche Komplikationen nach erfolgter Augmentation wurden genannt: Wundschmerz, Schwellung, Nachblutung, Infektion, Wundheilungsstörung, Zahnverletzung, Nervschädigung (Zunge und Lippe) mit Sensibilitätsstörung, notwendiger Zweiteingriff, Misserfolg des Eingriffs und Verlust des Augmentates bzw. des Implantates sowie eingeschränkte Nahrungsaufnahme während der Einheilungsphase des Augmentates und des Implantates.

Empfohlenes prä- und postoperatives Verhalten

Die Aufklärung erfolgte in schriftlicher und mündlicher Form. Im Rahmen des Aufklärungsgesprächs wurden dem Patienten Anweisungen für das prä- und das postoperative Verhalten gegeben. Die Patienten wurden angehalten, die postoperative Nahrungsaufnahme auf weiche Kost zu beschränken, um das Risiko einer Wunddehiszenz mit möglichem Augmentatverlust zu verringern. Der Konsum von Kaffee, Cola, schwarzem Tee und Zigaretten sollte in der Woche nach der Operation vermieden werden. Am Tag des Eingriffes sollte der Patient keinesfalls aktiv am Straßenverkehr teilnehmen. Über das postoperative Verhalten wurden die Patienten nach erfolgtem Eingriff erneut aufgeklärt.

Widerruflichkeit der Einwilligung

Es wurde mündlich sowie schriftlich auf die besonderen Bedingungen hinsichtlich der Teilnahme an einer klinischen Studie hingewiesen. Dem Patienten wurde erläutert, dass seine Teilnahme freiwillig sei und dass er diese jederzeit widerrufen bzw. seine Einwilligungserklärung ohne Angabe von Gründen zurücknehmen könne. Nachteile würden für ihn hierbei nicht entstehen. Dem Patienten wurde eine Patienteninformation (Anhang 1) mitgegeben, um das Besprochene nachlesen zu können.

Probandenversicherung

Alle Probanden wurden davon in Kenntnis gesetzt, dass die Risiken auf Grund der Eingriffe im Rahmen der Studie durch eine Haftpflichtversicherung der Akademie für Zahnärztliche Fortbildung Karlsruhe abgedeckt waren.

Speicherung von Daten

Die im Rahmen der Untersuchung erhobenen Daten wurden nur im Rahmen dieser Studie verwendet. Die bildgebenden Datensätze wurden anonymisiert und die persönlichen Daten pseudonymisiert. Die Ergebnisse der Studie wurden nur in allgemein statistischer Aussage formuliert. Es wurden keine individuellen Daten veröffentlicht, aus denen die Patienten persönlich identifiziert werden konnten. Eine Aufklärung hierüber erfolgte in mündlicher und schriftlicher Form.

Alle Patienten gaben ihr Einverständnis und mussten, bevor sie in die Studie aufgenommen wurden, eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie sowie zur Datenspeicherung unterschreiben (Anhang 2).

3.1.4 Randomisierung

Die subsequent akquirierten Teilnehmer wurden in zwei Gruppen mit je 15 Patienten randomisiert. Die Zuteilung der Patienten in Gruppe A (Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury) oder B (Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems®) erfolgte durch einfache Randomisierung mittels Zufallsauswahl. Zu diesem Zweck wurden 15 Karten mit A und 15 Karten mit B beschriftet und einzeln in Umschläge verpackt. Alle 30 Umschläge kamen in ein Behältnis. Vor jeder Operation zog eine zahnmedizinische Fachangestellte einen Umschlag und teilte dem Operateur den entsprechenden Buchstaben mit.

3.2 Operative Techniken

Sämtliche Operationen wurden in Lokalanästhesie vom selben Fachzahnarzt für Oralchirurgie durchgeführt.

Antibiose

Die augmentativen Eingriffe erfolgten unter perioperativer Antibiose mit Amoxicillin 750 mg dreimal täglich (ein Tag prä- und zwei Tage postoperativ). Bei bekannter Unverträglichkeit von Penicillin wurde Clindamycin 300 mg dreimal täglich verordnet.

Operationsvorbereitung

Die Operationsvorbereitung begann mit der Instruktion des Patienten über den Verlauf des Eingriffes. Nach der Fotodokumentation der Ausgangssituation spülten die Patienten für 2 min den Mund mit 0,2 %-iger Chlorhexidinlösung. Anschließend erfolgte die Lagerung der Patienten auf dem OP-Tisch und das Anlegen eines Pulsoxymeters.

Anästhesie

Die Anästhesie im Bereich des Unterkiefers zur Gewinnung des autogenen Knochens erfolgte intraoral durch Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior (Citocartin Sopira[®] 1:100.000, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Germany) mit ca. 1,5 ml pro Seite und Infiltrationsanästhesie des Nervus buccalis mit ca. 0,5 ml Citocartin Sopira[®] (bei Beachtung der Einwirkungszeit des Lokalanästhetikums von mindestens 10 min).

Die Anästhesie im Bereich des Oberkiefers im Augmentationsbereich erfolgte intraoral durch Leitungsanästhesie der Nervi palatini bzw. des Nervus incisivus mit Citocartin Sopira[®] mit ca. 0,3 ml pro Seite und Infiltrationsanästhesie des Plexus dentalis superioris mit ca. 1,5 ml Citocartin Sopira[®] (bei Beachtung der Einwirkungszeit des Lokalanästhetikums von mindestens 10 min).

Antiseptik

Nach zweimaliger perioraler Hautdesinfektion mit Octenisept[®] (Schülke & Mayr GmbH, Norderstedt) erfolgte die Abdeckung des Patienten mit sterilen Tüchern.

3.2.1 Augmentation

Lappenbildung und -mobilisation

Bei beiden Techniken erfolgte die Darstellung des Augmentatlagers über Bildung eines Trapezlappens (crestale Inzision mit mesialer und distaler Entlastung).

Die Lappenmobilisation für den späteren spannungsfreien Wundverschluss wurde durch Periostrichlitzung erzielt. Der Wundverschluss erfolgte spannungsfrei mittels nicht-resorbierbarer Naht (Supramid[®] 5/0, Serag Wiessner, Naila, Germany).

Augmentatgröße

Anhand der Defektgröße wurde die Menge des zur Augmentation nötigen Knochens ermittelt. Es sollten mindestens 4 mm augmentiert werden, sodass die Gesamtbreite der alveolären Empfängerregion mindestens 7 mm betrug.

Spenderregion

Als Spenderregion diente die Retromolarregion des Unterkiefers. Zur besseren Beurteilung der postoperativen Beschwerden wurde die Spenderregion contralateral der Empfängerregion gewählt.

Knochenblocktransplantation mittels Distanzschrauben nach Khoury

Die Gewinnung des autogenen Knochens erfolgte durch Knochenblockentnahme aus der Retromolarregion des Unterkiefers bzw. der Linea obliqua externa mit dem MicroSaw-Kit® (Dentsply Friadent, Mannheim, Deutschland) (Abb. 2A). Nach trapezförmiger Inzision und Darstellung des retromolaren Knochens durch Bildung eines Mukoperiostlappens wurde der Block in der benötigten Größe mittels einer Diamantscheibe (diamantierte Trennscheibe) und einem feinen Drillbohrer umschnitten. Mit der Diamantscheibe wurde mesial und distal jeweils ein vertikaler Schnitt angelegt. Diese Schnitte wurden kaudal mit einem horizontalen Schnitt verbunden. Im crestalen Bereich erfolgte die Verbindung der beiden vertikalen Schnitte durch 3 mm bis 4 mm tiefe Punktbohrungen mit dem Drillbohrer. Die Punktbohrungen wurden mit einem Meißel und leichten Hammerschlägen verbunden. Der Knochenblock wurde entnommen und bis zur Weiterverarbeitung in steriler Kochsalzlösung zwischengelagert. Zusätzlich wurden mittels Sieblochbohrtechnik mit einem Spiralbohrer (Pilotbohrer 1; Länge 41 mm; 2,2 mm; Straumann Group, Basel, Schweiz) aus derselben Region Knochenspäne entnommen. Diese wurden in einer Knochenfalle (Titan Knochenfilter KFT3, Firma Schlumbohm, Brokenstedt, Deutschland) aufgefangen und ebenfalls in steriler Kochsalzlösung zwischengelagert.

Nach Wundtoilette mit steriler Kochsalzlösung erfolgte der Wundverschluss der Entnahmestelle.

Der Knochenblock wurde mittels einer großen Diamantscheibe längs in zwei Hälften geteilt. Im buccalen Bereich des Augmentationsgebiets wurde einer der beiden Knochenblöcke mit Osteosyntheseschrauben (maxDrive®-Schrauben, KLS Martin, Gebrüder Martin GmbH & Co. KG Tuttlingen, Germany) auf Distanz zum ortsständigen Alveolarknochen stabil fixiert (Abb. 2B). Der Spaltraum zwischen Knochenblock und Alveolarknochen wurde mit Knochenchips und Knochenspänen gefüllt (Abb. 2C). Zur Gewinnung der Knochenchips wurde der zweite Knochenblock in einer Knochenquetsche (stoma®Instrumente, Tuttlingen, Germany)

partikuliert. Nach Abdeckung des Augmentates mit einer resorbierbaren Kollagen-Membran (Bio Gide, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz) erfolgte der primäre Wundverschluss.

Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems®

Zur Gewinnung von autologem Knochen wurden durch die Sieblochbohrtechnik aus der retro-molaren Region des Unterkiefers Knochenspäne entnommen und in einer Knochenfalle aufgefangen (Abb. 3A).

Die formstabile Fixation des Augmentates erfolgte bei diesem Verfahren mit einer resorbierbaren, amorphen 50:50 Poly-D-L-Laktid (PDLLA) Membran. Diese wurde mit resorbierbaren Pins aus PDLLA (SonicPins Rx, Durchmesser 1,6 mm, KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland) auf Distanz zum Knochendefekt fixiert (Abb. 3B). Hierfür wurden mit einem Vorbohrer des SonicWeld Rx Systems® Bohrungen gesetzt und die Pins unter Verwendung eines Ultraschallgenerators und einer selbsthaltenden Sonotrodenspitze in diese Bohrlöcher eingebracht. Die auf die Pins übertragene Ultraschallfrequenz führte unmittelbar zur Änderung der primär festen Oberfläche der Pins in einen flüssigen Aggregatzustand. Hierdurch ließen sich die Pins leicht einbringen. Sobald die gewünschte Tiefe der Pins erreicht wurde, wurde die Sonotrodenspitze von den Pins abgehoben. Hierdurch wurde die Übertragung der Ultraschallfrequenz unterbrochen, was zu einer sofortigen Aushärtung der Oberfläche und somit stabilen Verankerung der Pins führte. Anschließend wurde die Membran (Resorb-x®-Folie: Größe 25 mm x 25 mm, Folienstärke von 0,1 mm) mit Hilfe einer Schere so in Form gebracht, dass die Folienränder bei der Fixation die Köpfe der Pins vollständig bedeckten. Unter Zuhilfenahme der Sonotrodenspitze wurde die Folie nun mit den Pins durch Ultraschall und der beschriebenen hierbei eintretenden Aggregatzustandsänderung verschweißt.

Der zwischen Folie und originärem Knochen entstandene Hohlraum wurde mit einem Gemisch aus den zuvor gewonnenen autologen Knochenspänen und Knochenersatzmaterial (Bio-Oss®, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz) im Volumenverhältnis 1:3 gefüllt (Abb. 3C). Nach Abdeckung des Augmentates mit einer resorbierbaren Kollagenmembran (Bio-Gide®, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz) erfolgte der primäre Wundverschluss.

Röntgenkontrolle

Nach Abschluss des operativen Eingriffs erfolgte eine Röntgenkontrolle zur Beurteilung des Augmentates.

Analgesie und physikalische Maßnahmen

Zur Analgesie wurde Ibuprofen 400 mg rezeptiert. Die Einnahme erfolgte bei Bedarf und sollte drei Tabletten pro Tag nicht überschreiten. Bei einer höheren Dosis sollte Kontakt mit dem Operateur aufgenommen werden.

Die Patienten wurden instruiert, an den ersten drei postoperativen Tagen dreimal täglich für jeweils zwei Stunden mit kurzen Pausen das Operationsgebiet zu kühlen. Darüber hinaus erfolgten keine weiteren prophylaktischen Maßnahmen gegen das Auftreten von postoperativen Schwellungen.

3.2.2 Implantation

Nach einer Einheilzeit der Augmentate von vier Monaten erfolgte das Reentry über einen crestalen Zugang. Die augmentierten Regionen wurden dargestellt und bei Patienten der Gruppe A wurden die Osteosyntheseschrauben entfernt. Bei ausreichender Knochenbreite wurden nach Pilotbohrung und Aufbereitung der Implantatstollen gemäß Bohrprotokoll des Herstellers Astra OsseoSpeed™ TX Implantate (Astra Tech Dental, Mölndal, Sweden) inseriert (Abb. 2D und Abb. 3D). Eine unzureichende Kieferkammbreite, infolge eines Infektes oder einer ausgeprägten Resorption, machte eine Implantation zum geplanten Zeitpunkt ohne weitere augmentative Maßnahmen unmöglich. Diese Situation wurde als schwerwiegende Frühkomplikation gewertet und dokumentiert (siehe 3.3.2 Klinische Komplikationen). Es wurden Implantate mit Durchmessern zwischen 3,5 mm und 4,0 mm in der Länge 11 mm verwendet und auf Knochenniveau gesetzt. Sämtliche Implantate waren zirkulär bis zur Implantatschulter in Knochen gefasst. Nach Verschluss der Implantate mittels Einheilschrauben und Wundtoilette mit steriler Kochsalzlösung erfolgte der Wundverschluss.

Röntgenkontrolle

Nach Abschluss des operativen Eingriffs erfolgte eine Röntgenkontrolle zur Beurteilung der Implantation.

Analgesie und physikalische Maßnahmen erfolgten wie nach der Augmentation. Nach drei- bis viermonatiger Einheilzeit wurden die Implantate freigelegt und anschließend prothetisch versorgt. Ein Jahr nach Implantation wurde jeweils ein DVT zur dreidimensionalen Beurteilung der Stabilität des Augmentates und des periimplantären Knochens erstellt.

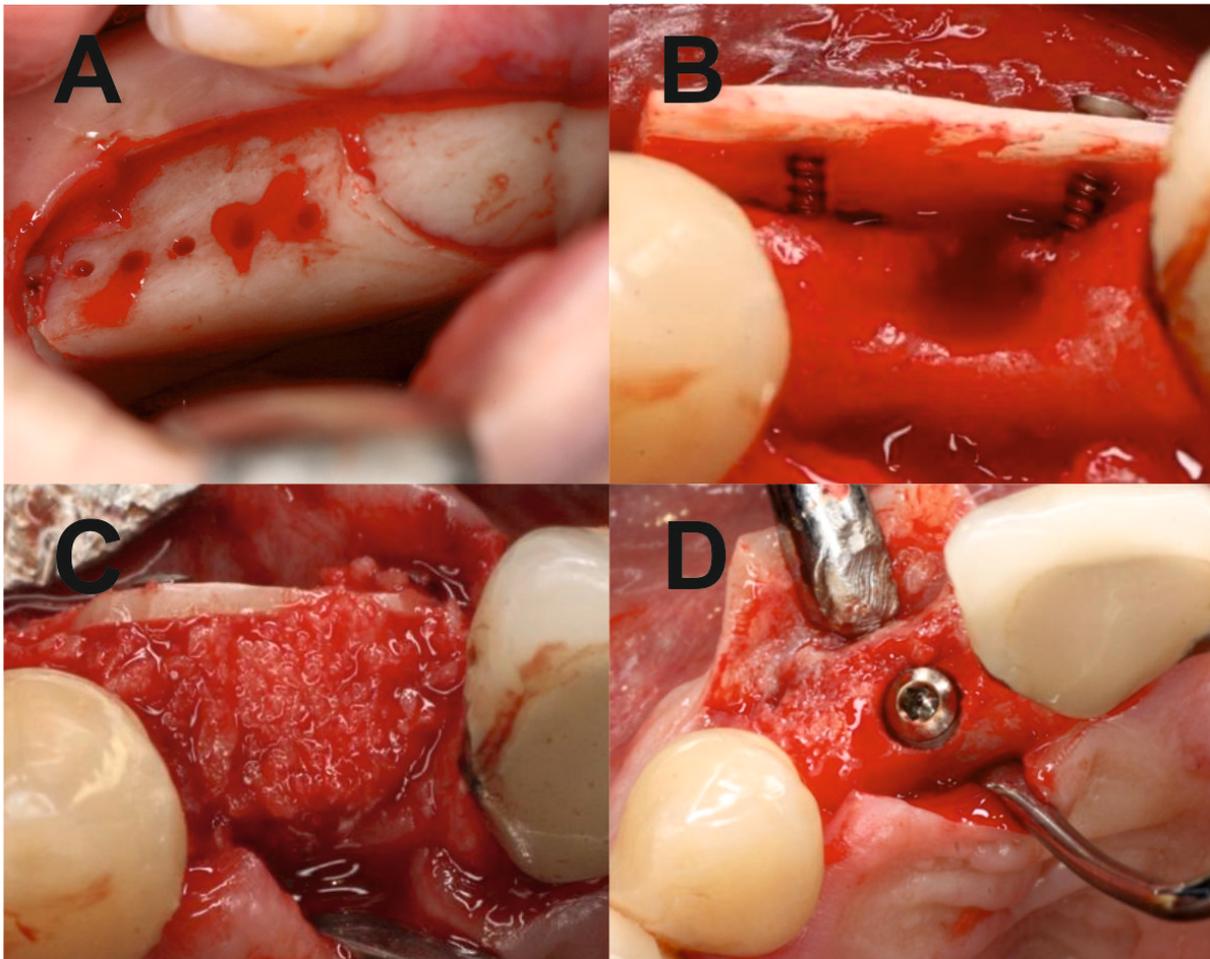


Abb. 2: Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Khoury

(A) Umschnittener Knochenblock vor der Entnahme; (B) Primärstabile Fixation eines Knochenblocks auf Distanz zum Lagerknochen mit Osteosyntheseschrauben; (C) Mit Knochenchips und Knochenspänen gefüllter Spaltraum zwischen Knochenblock und Lagerknochen; (D) Implantatinsertion vier Monate nach Augmentation.

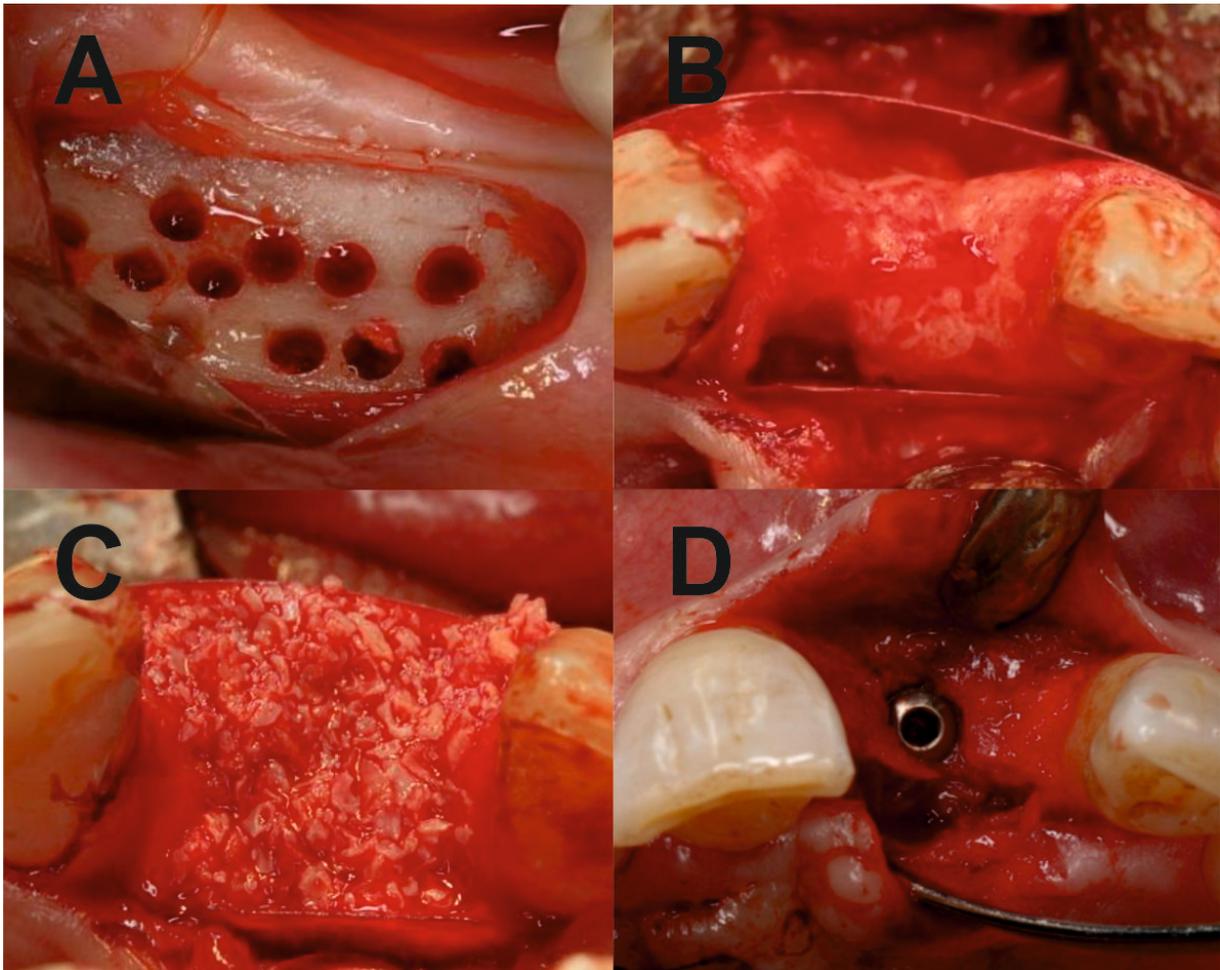


Abb. 3: Schalentchnik des SonicWeld Rx Systems®

(A) Retromolarregion nach Knochenentnahme mittels Sieblochbohrtechnik; (B) Mit Pins fixierte PDLLA-Membran; (C) Mit autologen Knochenespänen und Knochenersatzmaterial gefüllter Spaltraum zwischen Membran und Lagerknochen; (D) Implantatinsertion vier Monate nach Augmentation.

3.3 Klinische Dokumentation

Während des augmentativen Eingriffs wurde die klinische Kieferkambbreite im Bereich der Augmentationsstelle mit Hilfe einer Schieblehre vor und nach Anlagerung des Augmentates in Millimeter gemessen. Zudem wurde die Gesamtoperationszeit und die Zeit zur retromolaren Knochenentnahme in Minuten erhoben. Die Zeitmessung startete jeweils mit Beginn der Schnitfführung und endete bei Vollendung des Wundverschlusses.

3.3.1 Postoperative Beschwerden

Die Patienten wurden angewiesen, ihre postoperativen Beschwerden sowie den Schmerzmittelverbrauch zu dokumentieren. Hierfür wurden ihnen Dokumentationsbögen ausgehändigt (Anhang 3). Sie bewerteten Schmerzen und Schwellung. Diese waren bezüglich Spender- und

Empfängerregion zu differenzieren. Die Dokumentation erfolgte auf einer visuellen Analogskala (VAS) (Abb. 4) am ersten, dritten, siebten, 14. und 28. postoperativen Tag. Für Schmerzen und Schwellung wurde jeweils eine separate VAS verwendet. Die VAS stellte eine 100 mm lange Strecke dar, deren linkes Ende mit „keine Schmerzen“ bzw. „keine Schwellung“ und deren rechtes Ende mit „unerträgliche Schmerzen“ bzw. „unerträgliche Schwellung“ beschriftet war. Eine Skalierung war nicht vorhanden. Je postoperativer Beschwerde (Schmerz oder Schwellung), Dokumentationstag und Region (Spender- und Empfängerregion) hatten die Patienten eine separate VAS zur Verfügung. Allen Patienten wurde die VAS bezüglich ihrer Bedeutung und Verwendung erläutert. Sie wurden angewiesen, die VAS mittags, vor Einnahme der Schmerzmittel, auszufüllen. Hierfür legten sie den Schweregrad ihrer Beschwerden durch Markierung mit einem Stift auf der Linie fest. Eine Maximaldosis an Analgetika von drei Tabletten Ibuprofen 400 mg pro Tag war vorgegeben. Die Anzahl eingenommener Tabletten pro Tag war zu dokumentieren. Bei unzureichender Analgesie waren die Patienten angewiesen, den Chirurgen zu kontaktieren. Unklarheiten oder Fragen bezüglich der Verwendung der VAS konnten bei den postoperativen Nachkontrollen geklärt werden.

Die Auswertung der VAS erfolgte jeweils nach dem 28. postoperativen Tag durch einen nicht an der Behandlung beteiligten Zahnarzt. Hierfür wurde die Strecke zwischen „keine Beschwerden“ und der Markierung in Millimeter gemessen. Diese stellt den Grad der Beschwerde zum jeweiligen Zeitpunkt dar.



Abb. 4: Visuelle Analogskala (VAS) für Schmerzen

3.3.2 Klinische Komplikationen

Es wurden sämtliche Komplikationen und klinische Vorfälle im Zeitraum zwischen der Augmentation und der Verlaufskontrolle ein Jahr nach Implantation dokumentiert. Hierbei wurden unterschieden:

- schwerwiegende Frühkomplikationen
- schwerwiegende Spätkomplikationen
- nicht-schwerwiegende Komplikationen

Ein Augmentatverlust durch Infektion oder durch eine starke Resorption mit der Konsequenz, dass eine Implantation ohne weitere augmentative Maßnahme nicht möglich war, wurde als schwerwiegende Frühkomplikation definiert. Ein Implantatverlust innerhalb des ersten Jahres nach Implantation wurde als schwerwiegende Spätkomplikation definiert. Ab dem Zeitpunkt des Auftretens einer schwerwiegenden Komplikation wurden die betroffenen Patienten vom weiteren Verlauf der Studie ausgeschlossen. Die Weiterbehandlung dieser Patienten erfolgte entweder durch erneute augmentative und implantologische Maßnahmen oder durch eine alternative prothetische Versorgung. Komplikationen, welche eine spätere Implantation nicht beeinflussten, wurden als nicht-schwerwiegend definiert. Hierzu zählten Infektionen, Wundheilungsstörungen, Nahtdehiszenzen und temporäre Sensibilitätsstörungen.

3.3.3 Radiologische Auswertung

Die radiologische Untersuchung hatte zum Ziel, das Resorptionsverhalten des Augmentates und der buccalen Knochenlamelle am Implantat zu beurteilen. Zum Zeitpunkt der Implantation waren alle Implantate zirkulär bis zur Implantatschulter in Knochen gefasst. Dieser bestand aus originärem und augmentiertem Knochen. Zur Beurteilung morphologischer Veränderungen des periimplantären Knochens wurden ein Jahr nach Implantation DVTs (PaX-Duo3D, Orange Dental, Biberach an der Riß, Germany) angefertigt. Die Auswertung der DVTs erfolgte mit Ez3D Plus Software (Vatech Co. Ltd., Hwaseong-si, Korea) durch drei unabhängige medizinische Fachpersonen. Die drei auswertenden Personen waren mit der Software vertraut. Es war ihnen nicht bekannt, um welche Augmentationstechnik (A oder B) es sich bei den jeweiligen DVTs handelte. Sämtliche Messungen wurden von jeder auswertenden Person dreimal durchgeführt. Aus den resultierenden Messergebnissen wurden Mittelwerte gebildet.

Beurteilt wurden:

- das mesiale und distale Knochenniveau in Bezug auf die Implantatschulter
- das buccale Knochenniveau in Bezug auf die Implantatschulter (buccale Rezession)
- die transversale Kieferkambreite
- die Dicke der buccalen Knochenlamelle

Mesiales und distales Knochenniveau bezogen auf die Implantatschulter

Die Beurteilung des mesialen und distalen Knochenniveaus erfolgte wie bei einem zweidimensionalen Röntgenbild. Hierfür wurde die Bildebene tangential zum Kieferkamm gewählt (Abb. 5A). Als Referenzpunkt diente der obere Rand der Implantatschulter. In Fällen, in denen die

Implantatoberfläche nicht vollständig knöchern bedeckt war, wurde der Knochenverlust gemessen. Zu diesem Zweck wurde der Abstand vom ersten Implantat-Knochenkontakt zum Referenzpunkt in Millimeter gemessen. Diese Messungen erfolgten im mesialen und distalen Bereich des Implantates. Hierbei wurde jeweils nur der höhere Wert in die statistische Auswertung einbezogen.

Buccales Knochenniveau bezogen auf die Implantatschulter (buccale Rezession)

Zur Beurteilung des buccalen Knochenniveaus ist eine dreidimensionale Diagnostik nötig. Die Bildebene wurde hierfür in bucco-oraler Richtung, d. h. senkrecht zum Kieferkamm, gewählt. Die Messungen erfolgten wie im mesialen und distalen Bereich (Abb. 5B).

Transversale Kieferkammbreite

Des Weiteren wurde die transversale Kieferkammbreite in bucco-oraler Richtung in Millimeter gemessen (Abb. 5C).

Die Messungen erfolgten zu den Zeitpunkten:

- Zeitpunkt der Basisuntersuchung (T0)
- Postoperativ nach der Augmentation (T1)
- Postoperativ nach der Implantation (T2)
- Ein Jahr nach Implantation (T3)

Damit die Ergebnisse der Kieferkammbreitenmessungen vergleichbar waren, mussten diese immer auf der gleichen Höhe stattfinden. Als Referenzpunkt diente hierfür der höchste Punkt des Alveolarkamms oder der höchste Punkt der Implantatschulter. Gemessen wurde 2 mm unterhalb des Referenzpunktes. Zum Zeitpunkt der Basisuntersuchung (T0) und postoperativ nach der Augmentation (T1) diente der höchste Punkt des Alveolarkamms, nach Implantation (T2 und T3) die Implantatschulter als Referenzpunkt.

Buccale Knochenlamelle

Zusätzlich wurde die Dicke der buccalen Knochenlamelle zu den Zeitpunkten T2 und T3 gemessen (Abb. 5D). Die Messungen erfolgten auf verschiedenen Höhen. Als Referenzpunkt diente hierfür der höchste Punkt der Implantatschulter. Gemessen wurde auf Höhe des Referenzpunktes (L0) sowie jeweils 2 mm (L2) und 4 mm (L4) unterhalb des Referenzpunktes (Abb. 5D).

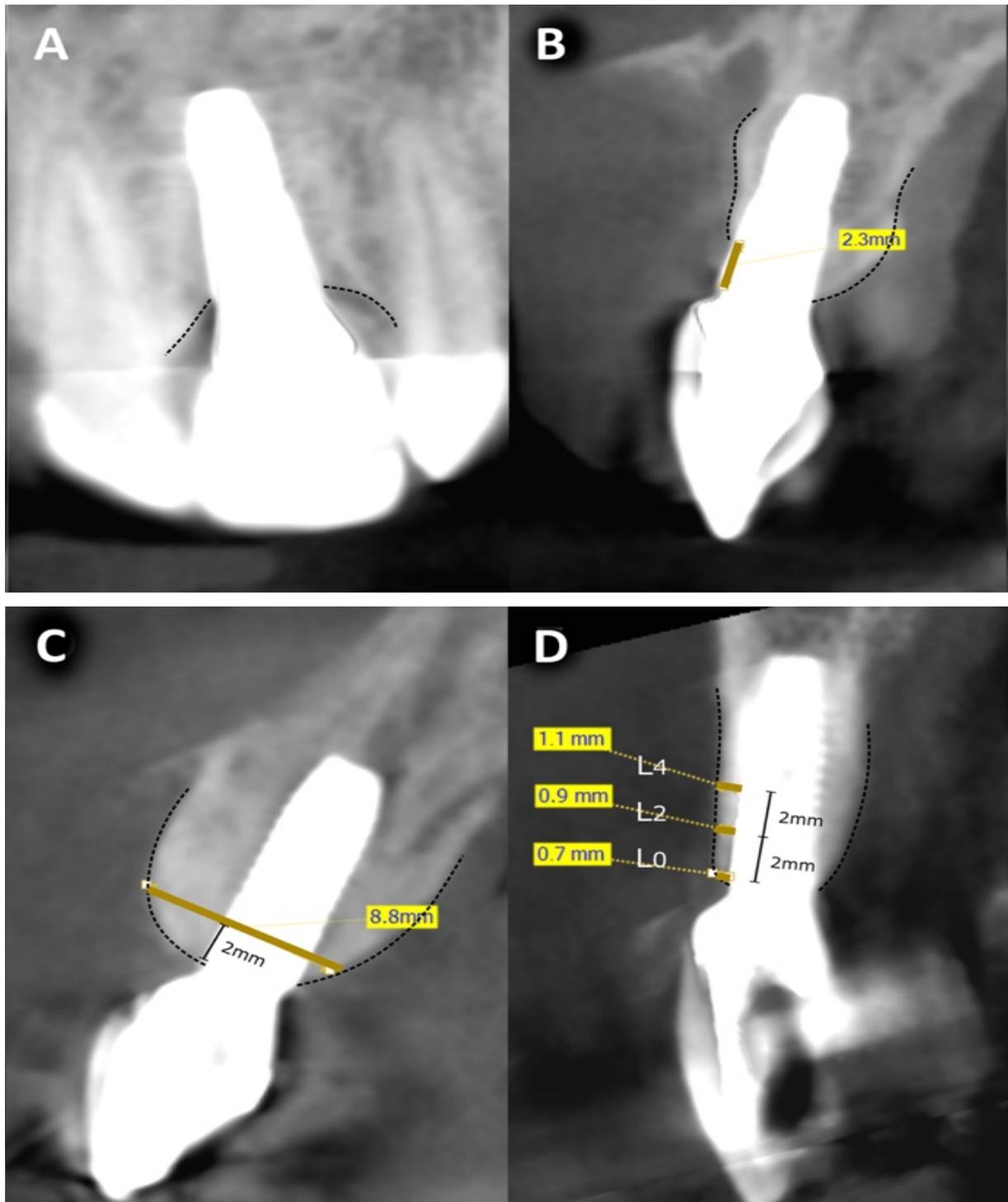


Abb. 5: Radiologische Auswertung

Vermessung des buccalen Knochenlevels ein Jahr nach Implantation mittels DVT

(A) Im coronaren Schnitt ist mesial und distal kein Knochenverlust erkennbar. (B) Messung des buccalen Knochenverlustes. Der Abstand des ersten Implantat-Knochenkontaktes zum Referenzpunkt (Implantatschulter) beträgt hier 2,3 mm. (C) Messung der transversalen Kieferkammbreite 2 mm unter Implantatschulterniveau (D) Messung der buccalen Knochenlamelle auf Höhe der Implantatschulter sowie 2 mm und 4 mm unter der Implantatschulter

3.4 Statistische Auswertung

Um mit einem Signifikanzniveau α von fünf Prozent und einem β -Fehlerniveau von 20 % ($\alpha = 0,05$ und $(1-\beta) = 0,80$) Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen, wurde, unter der Annahme einer Gesamtkomplikationsrate von 2 % in Gruppe A und 40 % in Gruppe B, eine Gesamtzahl von 15 Patienten pro Gruppe berechnet. Die Berechnung der Stichprobengröße und die Post-Hoc-Power Berechnung erfolgten mit G*Power 3.1.2 (Faul et al., 2007). Für den Vergleich der Therapiegruppen wurde als statistisches Verfahren der Mann-Whitney-U-Test eingesetzt. Die Nullhypothese auf Homogenität der Untersuchungsgruppen wurde abgelehnt, wenn sich im statistischen Test eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ ergab. Für multiples Testen wurde nicht adjustiert.

Die statistischen Methoden beinhalteten Kreuztabellen mit Fisher-Exakt Tests für kategorische Daten. Mittelwerte wurden durch Zweistichproben-t-Tests verglichen. Die Intra-Klassen-Korrelation (ICC) wurde für jeden Mittelwert ($k = 3$) von jeder einzelnen Messstelle berechnet (Absolute Übereinstimmung, Zwei-Weg gemischt). Alle Auswertungen wurden auf Patientenebene berechnet. Dies entsprach in dieser Studie der Implantat-Ebene.

Die Datenerfassung erfolgte mit Excel und die Auswertung mit IBM SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) unter Windows 7.

4 Ergebnisse

4.1 Studienpopulation

Die Studienpopulation bestand aus 30 Patienten, welche auf zwei Gruppen (A und B) zu je 15 Patienten randomisiert verteilt wurden. Die zum Zeitpunkt der Augmentation vorliegende Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten ist in Tabelle 2 dargestellt. Das mittlere Alter der Patienten lag bei 43,1 Jahren. 16 Teilnehmer der Studie (53 %) waren männlich. Bei der Alters- und Geschlechtsverteilung gab es keinen signifikanten Unterschied. Die Gruppen (A und B) erwiesen sich diesbezüglich als homogen.

Tab. 2: Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten zum Zeitpunkt der Augmentation.

Verteilung	Studienpopulation			Signifikanz
	Gruppe A	Gruppe B	Gesamt	p-Wert
Alter (Jahre)				
Mittelwert (SD)	51,5 (17,3)	43,1 (17,2)	47,3 (17,5)	0,19
Spanne	19-72	19-72	19-72	
Geschlecht (♂)				
N (%)	7 (47)	9 (60)	16 (53)	0,71
Gesamt N (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	

N = Anzahl, ♂ = männlich, SD = Standardabweichung

4.2 Klinische Dokumentation

4.2.1 Kieferkammbreiten

In Gruppe A lag die durchschnittliche Kieferkammbreite vor Augmentation bei 2,8 mm, in Gruppe B bei 2,5 mm. Der Unterschied war nicht signifikant.

Die durchschnittliche Kieferkammbreite nach Augmentation war in beiden Gruppen identisch und betrug 8,7 mm. Somit ergab sich eine durchschnittliche Verbreiterung des Kieferkamms um 5,9 mm in Gruppe A und um 6,2 mm in Gruppe B. Der Unterschied war nicht signifikant (ANOVA 0,033; 1df, p = 0,833).

4.2.2 Operationszeiten

Die Operationszeit lag in Gruppe A zwischen 29,5 min und 73 min, in Gruppe B zwischen 29,7 min und 90,2 min. Die durchschnittliche Operationszeit der beiden Gruppen war identisch (Tabelle 3).

Die Operationszeiten zur retromolaren Knochenentnahme lagen in Gruppe A zwischen 6,7 min und 25,5 min, in Gruppe B zwischen 2,8 min und 27,4 min. Die durchschnittliche Operationszeit zur retromolaren Knochenentnahme dauerte in Gruppe A doppelt so lang wie in Gruppe B (Tabelle 4). Dieser Unterschied war signifikant (ANOVA 10,69; 1 df, $p = 0,003$).

In vielen Fällen war die Fixierung der resorbierbaren Pins und der Membranen in Gruppe B sehr zeitaufwendig. Deshalb führte eine vergleichsweise kürzere Operationszeit bei der retromolaren Knochenentnahme in Gruppe B zu keiner kürzeren Gesamtoperationszeit.

Tab. 3: Durchschnittliche Gesamtoperationszeit bei Augmentation (in Minuten)

Statistik	Studienpopulation		
	Gruppe A	Gruppe B	Gesamt
<i>N</i>	15	15	30
Mittelwert	52,4	52,4	52,4
SD	13,1	16,5	14,6
Median	52,1	49,5	50,8

N = Anzahl, SD = Standardabweichung

Tab. 4: Durchschnittliche Operationszeit zur retromolaren Knochenentnahme (in Minuten)

Statistik	Studienpopulation		
	Gruppe A	Gruppe B	Gesamt
<i>N</i>	15	15	30
Mittelwert	12,8	6,4	9,6
SD	4,7	6,0	6,2
Median	11,8	4,7	8,5

N = Anzahl, SD = Standardabweichung

4.3 Postoperative Beschwerden

4.3.1 Spenderregion

Die postoperativen Beschwerden im Bereich der Knochenentnahme zeigten zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Die Mittelwerte der mittels VAS gemessenen Stärke der empfundenen postoperativen Beeinträchtigung sind in Abbildung 6 in Millimeter dargestellt. In Gruppe A war die Schwellung am ersten postoperativen Tag am stärksten und nahm zum dritten postoperativen Tag leicht ab. In Gruppe B war die Schwellung am ersten postoperativen Tag geringer als in Gruppe A und nahm zum dritten postoperativen Tag leicht zu. Vom dritten bis siebten postoperativen Tag nahm die Schwellung in beiden Gruppen rapide und danach bis zum 28. postoperativen Tag weiter kontinuierlich ab. Die Schwellung war in Gruppe B im Mittel geringer als in Gruppe A, jedoch ohne Signifikanz.

Die Schmerzen waren in beiden Gruppen vom ersten postoperativen Tag an rückläufig. Am ersten postoperativen Tag wurden die Schmerzen in Gruppe A stärker als in Gruppe B empfunden. Zwischen dem dritten und 28. postoperativen Tag waren die empfundene Schmerzintensität und Rückläufigkeit der Schmerzen in beiden Gruppen annähernd gleich. Im Verlauf der ersten 14 postoperativen Tage lagen die Mittelwerte der VAS für die Schwellung in beiden Gruppen über denen der Schmerzen.

Zwischen dem ersten und siebten postoperativen Tag wurden in Gruppe A die Schmerzen als signifikant geringer wahrgenommen als die Schwellung (1. Tag (ANOVA 6,709; 1 df, $p < 0,001$) 3. Tag (ANOVA 13,643; 1 df, $p < 0,001$) 7. Tag (ANOVA 6,635; 1 df, $p < 0,016$). In Gruppe B wurden die Schmerzen nur am dritten postoperativen Tag signifikant geringer als die Schwellung empfunden (ANOVA 6,139; 1 df, $p < 0,02$).

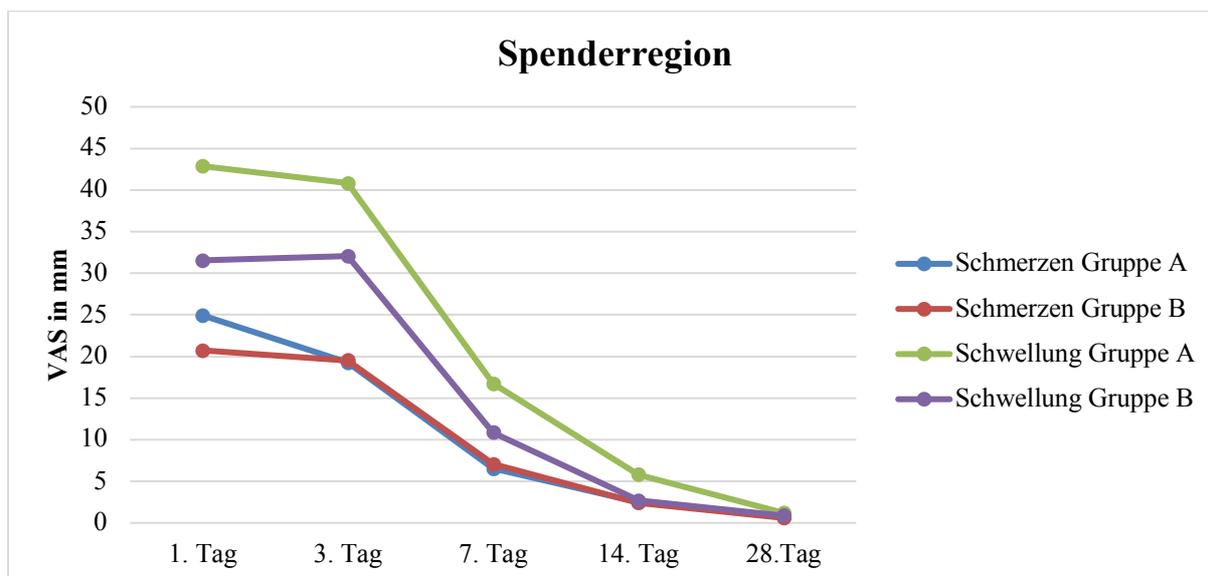


Abb. 6: Postoperative Beschwerden im Bereich der Spenderregion

VAS-Werte in Millimeter im Mittel für jeweils Schmerzen und Schwellung in den Gruppen A und B vom ersten bis 28. postoperativen Tag.

4.3.2 Empfängerregion

In beiden Gruppen nahm die Schwellung ab dem ersten postoperativen Tag zu und erreichte ihr Maximum am dritten postoperativen Tag. Danach nahm die Schwellung in beiden Gruppen bis zum siebten postoperativen Tag rapide und in Folge weiterhin kontinuierlich ab. Nach einem leichten Anstieg der Schmerzen vom ersten zum dritten postoperativen Tag in Gruppe A nahmen die Schmerzen in beiden Gruppen vom dritten postoperativen Tag an kontinuierlich ab. Über den gesamten Beobachtungszeitraum (erster bis 28. postoperativer Tag) wurde Schmerz und Schwellung im Bereich der Augmentation in Gruppe A geringer als in Gruppe B wahrgenommen (Abb. 7). Die Unterschiede waren sowohl für Schmerz als auch Schwellung nicht signifikant. In beiden Gruppen wurden zwischen erstem und siebten postoperativen Tag die Schmerzen signifikant geringer wahrgenommen als die Schwellung (Gruppe A: 1. Tag (ANOVA 6,287; 1 df, $p < 0,018$), 3. Tag (ANOVA 6,682; 1 df, $p < 0,015$), 7. Tag (ANOVA 4,293; 1 df, $p < 0,048$); Gruppe B: 1. Tag (ANOVA 8,009; 1 df, $p < 0,009$) 3. Tag (ANOVA 12,795; 1 df, $p < 0,001$), 7. Tag (ANOVA 5,221; 1 df, $p < 0,03$). An den anderen Tagen waren die Unterschiede nicht signifikant. In beiden Gruppen traten bei jeweils einem Patienten Wundheilungsstörungen auf. Bei diesen beiden Patienten lagen die Werte der postoperativen Schwellung und Schmerzen über den Durchschnittswerten.

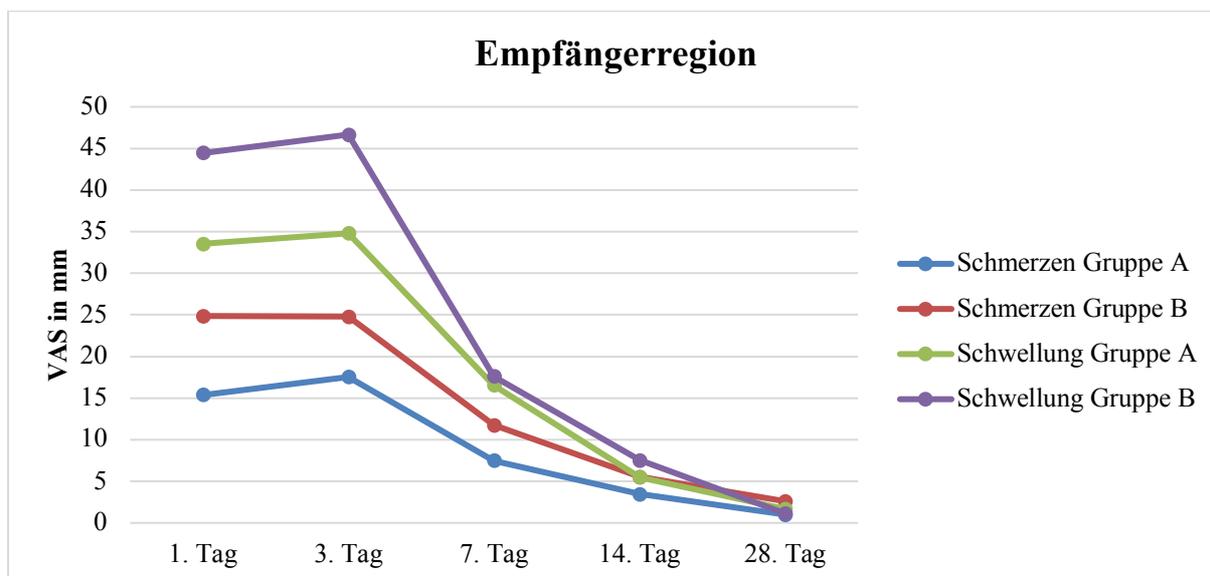


Abb. 7: Postoperative Beschwerden im Bereich der Empfängerregion.

VAS-Werte in Millimeter im Mittel für jeweils Schmerzen und Schwellung in den Gruppen A und B vom ersten bis 28. postoperativen Tag.

4.3.3 Postoperative Analgetikadosierung

Als Analgetikum wurde Ibuprofen 400 mg verwendet. Die Maximaldosis von drei Tabletten pro Tag sollte nicht überschritten werden. Der durchschnittliche Tablettenbedarf pro Tag ist in Abbildung 8 dargestellt. Die durchschnittliche Tagesdosis stieg in beiden Gruppen zwischen dem ersten und zweiten postoperativen Tag an und nahm danach bis zum elften postoperativen Tag kontinuierlich ab. In beiden Gruppen wurden nach dem elften postoperativen Tag keine Analgetika mehr benötigt. Zwischen den beiden Gruppen lagen zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede vor. Der durchschnittliche Gesamtverbrauch an Analgetika innerhalb der ersten elf postoperativen Tage lag in Gruppe A bei 10,5 Tabletten pro Patienten, in Gruppe B bei 10,8. Dieser Unterschied war ebenfalls nicht signifikant.

Jeweils einem Patienten pro Gruppe reichte die vorgeschriebene Maximaldosis zur Analgesie nicht aus. Bei beiden Patienten wurde, in Rücksprache mit dem behandelnden Chirurgen, die tägliche Dosierung nach Bedarf erhöht und dokumentiert. Der Patient aus Gruppe A benötigte insgesamt 45 Tabletten, der aus Gruppe B insgesamt 42 Tabletten.

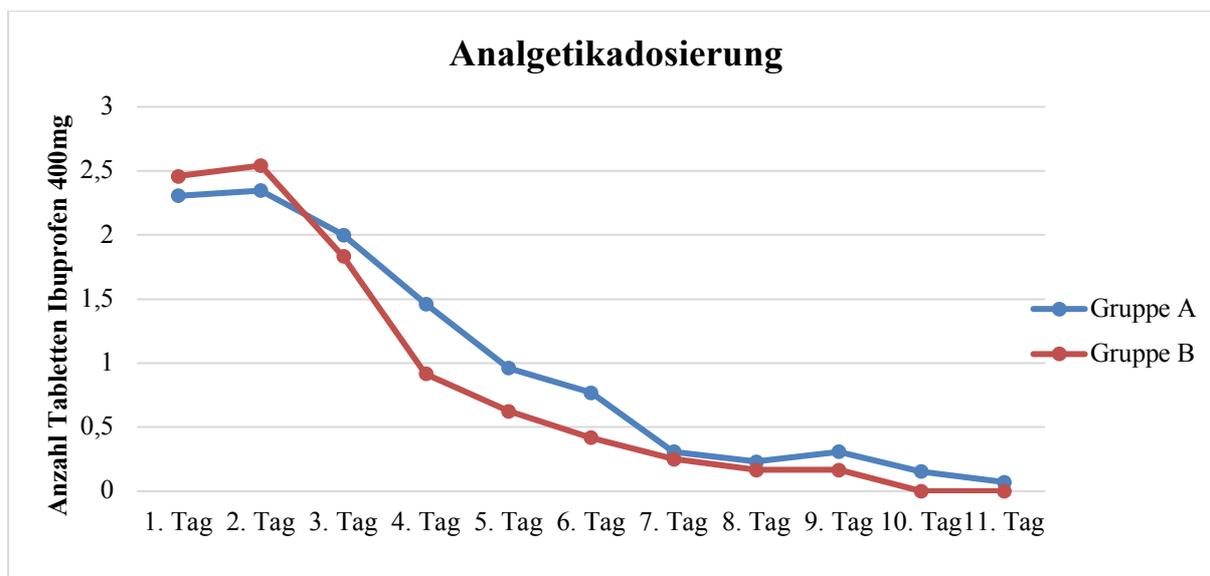


Abb. 8: Durchschnittliche Analgetikadosierung

Durchschnittliche Anzahl an Tabletten (Ibuprofen 400 mg) pro Patienten pro Tag vom ersten bis zum elften postoperativen Tag.

4.4 Klinische Komplikationen

Bei zwölf der insgesamt 30 Patienten trat eine Gesamtzahl von 16 Komplikationen auf. Hierbei handelte es sich um acht schwerwiegende Komplikationen und um acht nicht-schwerwiegende Komplikationen (Tabelle 5). In Gruppe A traten bei einem Patienten sowohl eine schwerwiegende als auch eine nicht-schwerwiegende Komplikation auf. In Gruppe B traten bei elf Patienten sieben schwerwiegende und sieben nicht-schwerwiegende Komplikationen auf. Drei dieser elf Patienten waren ebenfalls von einer schwerwiegenden und einer nicht-schwerwiegenden Komplikation betroffen. Der Unterschied in der Anzahl an Komplikationen pro Gruppe (zwei Komplikationen in Gruppe A, 14 Komplikationen in Gruppe B) war statistisch signifikant ($X^2 = 6,14$; $p = 0,013$). Der Unterschied in der Anzahl an betroffenen Patienten von Komplikationen in beiden Gruppen (Gruppe A ein Patient, Gruppe B elf Patienten) war ebenfalls statistisch signifikant ($X^2 = 13,89$; $p < 0,001$).

Bei der Anzahl von 15 Probanden pro Gruppe und unter Anwendung des Fishers-Exakt Tests mit einer Gesamtkomplikationsrate von 7 % (ein Patient von 15) in Gruppe A und 73 % (elf Patienten von 15) in Gruppe B, bestätigte die Post-hoc-Poweranalyse eine Teststärke von 98,5 %.

Auch in Bezug auf die schwerwiegenden Komplikationen gab es signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen. In Gruppe A waren 7 % (ein Patient von 15) von schwerwiegenden Komplikationen und in Gruppe B 47 % (sieben Patienten von 15) betroffen.

4.4.1 Schwerwiegende Frühkomplikationen

Während der Einheilzeit der Augmentate kam es in insgesamt sechs Fällen (20 %) zu schwerwiegenden Komplikationen. In beiden Gruppen trat bei jeweils einem Patienten ein infektionsbedingter Augmentatverlust auf. In Gruppe B resorbierten bei vier Patienten die Augmentate teilweise, sodass eine Implantation nicht möglich war. Dies entspricht einer Rate an schwerwiegenden Frühkomplikationen von 6,7 % in Gruppe A und 33,3 % in Gruppe B. Dieser Unterschied zeigte eine Tendenz zu einer höheren Komplikationsrate in Gruppe B ($X^2 = 3,33$; $p = 0,068$).

4.4.2 Schwerwiegende Spätkomplikationen

Innerhalb des ersten Jahres nach Implantation traten in Gruppe A keine schwerwiegenden Spätkomplikationen auf. In Gruppe B gingen, noch vor der prothetischen Versorgung, zwei Implantate aufgrund fehlender Osseointegration verloren. Dieser Unterschied zeigt eine Tendenz zu einer höheren Rate von Spätkomplikationen in Gruppe B ($X^2 = 3,05$; $p = 0,082$).

4.4.3 Nicht-schwerwiegende Komplikationen

In Bezug auf die nicht-schwerwiegenden Komplikationen gab es ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. In Gruppe A waren hiervon 7 % (ein Patient von 15) und in Gruppe B 47 % (sieben Patienten von 15) der Patienten betroffen.

In Gruppe A traten keine Dehiszenzen auf. In Gruppe B kam es in fünf Fällen zu Dehiszenzen. Dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,042$). Während eine Dehiszenz per se keine schwerwiegende Komplikation ist, führte sie in zwei von fünf Fällen zum Verlust des Augmentates. In beiden Gruppen trat bei jeweils einem Patienten eine Infektion mit Suppuration im Bereich der Augmentation auf. In beiden Fällen führte diese Komplikation zum Verlust des Augmentates. Bei einem Patienten in Gruppe B trat eine temporäre Hypästhesie im Bereich der Spenderregion auf. Dies war statistisch nicht signifikant.

Die Gesamtzahl von sieben nicht-schwerwiegenden Komplikationen in Gruppe B war gegenüber einer nicht-schwerwiegenden Komplikation in Gruppe A signifikant höher ($p = 0,035$).

Insgesamt führten vier primär nicht-schwerwiegende Komplikationen zum Verlust der Augmentate und somit zu schwerwiegenden Komplikationen.

Tab. 5: Klinische Komplikationen

Klinische Komplikation	Studienpopulation			Fishers- Exakt Test
	Gruppe A	Gruppe B	Gesamt	p-Wert
Augmentatverlust (ja)				
<i>N</i> (%)	1 (7)	5 (33)	6 (20)	0,17
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	
Implantatverlust (ja)				
<i>N</i> (%)	0 (0)	2 (20)	2 (8)	0,18
Gesamt <i>N</i> (%)	14 (100)	10 (100)	24 (100)	
Schwerwiegende Komplikationen gesamt				
<i>N</i> (%)	1 (7)	7 (47)	8 (27)	0,035
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	
Dehiszenz				
<i>N</i> (%)	0 (0)	5 (33)	5 (33)	0,042
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	
Infektion (Eiter)				
<i>N</i> (%)	1 (7)	1 (7)	2 (7)	> 0,999
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	
Nervverletzung Spenderregion				
<i>N</i> (%)	0 (0)	1 (7)	1 (3)	> 0,999
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	
Nicht-schwerwiegende Komplikationen gesamt				
<i>N</i> (%)	1 (7)	7 (47)	8(27)	0,035
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15 (100)	30 (100)	
Alle Komplikationen gesamt*				
<i>N</i> (%)	1 (7)	11(73)	12 (40)	< 0,001
Gesamt <i>N</i> (%)	15 (100)	15(100)	30(100)	

N = Anzahl, *Die Komplikationen wurden nicht kumuliert, sodass pro Fall nur eine Komplikation gewertet wurde. Fett gedruckte p-Werte zeigen statistisch signifikante Unterschiede an ($p < 0,05$).

4.5 Radiologische Auswertung

4.5.1 Mesiales und distales Knochenniveau bezogen auf die Implantatschulter

Ein Jahr nach Implantation waren in Gruppe A im mesialen und distalen Bereich keine Knochenverluste erkennbar (Abb. 5A, 9A). In Gruppe B zeigte sich an einem Implantat ein Knochenverlust von 1 mm im Bereich der distalen Implantatschulter. Der durchschnittliche Knochenverlust betrug in Gruppe B somit 0,12 mm (SD 0,35). Der Unterschied zwischen den Gruppen war statistisch nicht signifikant ($p = 0,19$).

4.5.2 Buccales Knochenniveau bezogen auf die Implantatschulter (buccale Rezession)

Ein Jahr nach Implantation betrug der durchschnittliche buccale Höhenverlust des Knochens 1,90 mm (SD 2,86 mm) in Gruppe A und 1,65 mm (SD 3,81 mm) in Gruppe B (Abb. 5B, 9B, 10B). Für diesen Unterschied bestand keine statistische Signifikanz ($p = 0,86$).

4.5.3 Transversale Kieferkammbreite

Die Mittelwerte der Kieferkammbreiten vor und nach Augmentation sowie nach Implantation sind in Tabelle 6 dargestellt (Abb. 5C, 9C, 10C). Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren statistisch nicht signifikant.

4.5.4 Buccale Knochenlamelle

Die ermittelten Durchschnittswerte der buccalen Knochenlamelle sind in Tabelle 6 dargestellt (Abb. 5D, 9D, 10D). Zum Zeitpunkt T2 war die buccale Knochenlamelle auf den Höhen L2 und L4 in Gruppe B signifikant dicker als in Gruppe A (L2 ($p = 0,05$); L4 ($p = 0,01$)). Zum Zeitpunkt T3 war dieser Unterschied nicht mehr signifikant. Der Unterschied der Resorption der buccalen Knochenlamelle zwischen T2 und T3 war auf allen Höhen (L0, L2, L4) zwischen beiden Gruppen nicht signifikant.

Die für jede Messstelle berechneten ICC-Werte reichten von 0,89 (95 % CI 0,82-0,94) bis 1,00 (95 % CI 0,998-1,00) und wurden als hervorragend bewertet.

Tab. 6: Mittelwerte der transversalen Kieferkammbreite und der buccalen Knochenlamelle zu den Zeitpunkten der Basisuntersuchung (T0), nach Augmentation (T1), nach Implantation (T2) und ein Jahr nach Implantation (T3).

Zeitpunkt der Messung	Studienpopulation				t-Test*
	Gruppe A	N	Gruppe B	N	p-Wert
T₀ (Basisuntersuchung)					
Durchschnittl. transversale Kieferkammbreite (mm) (SD)	2,67 (0,61)	15	2,20	15	0,10
T₁ (nach Augmentation)					
Durchschnittl. transversale Kieferkammbreite (mm) (SD)	8,93 (1,05)	15	9,00	15	0,87
T₂ (nach Implantation)					
Durchschnittl. transversale Kieferkammbreite (mm) (SD)	7,77 (1,96)	15	6,83	15	0,26
Durchschnittl. Breite der buccalen Knochenlamelle L ₀ (mm) (SD)	1,52 (0,96)	14	1,77	10	0,51
Durchschnittl. Breite der buccalen Knochenlamelle L ₂ (mm) (SD)	2,23 (0,84)	14	3,12	10	0,05
Durchschnittl. Breite der buccalen Knochenlamelle L ₄ (mm) (SD)	2,34 (0,89)	14	3,75	10	0,01
T₃ (ein Jahr nach Implantation)					
Durchschnittl. transversale Kieferkammbreite (mm) (SD)	6,60 (1,18)	14	7,18	8	0,32
Durchschnittl. Breite der buccalen Knochenlamelle L ₀ (mm) (SD)	0,58 (0,77)	14	0,77	8	0,60
Durchschnittl. Breite der buccalen Knochenlamelle L ₂ (mm) (SD)	1,23 (0,82)	14	1,55	8	0,44
Durchschnittl. Breite der buccalen Knochenlamelle L ₄ (mm) (SD)	1,33 (0,85)	14	2,06	8	0,14
Durchschnittl. Resorption der buccalen Knochenlamellen zwischen T₂ und T₃					
L ₀ (mm) (SD)	0,94 (0,99)	14	0,68	8	0,57
L ₂ (mm) (SD)	1,00 (0,71)	14	1,06	8	0,90
L ₄ (mm) (SD)	1,01 (0,82)	14	1,04	8	0,93

Durchschnittl. = Durchschnittliche, SD = Standardabweichung, N = Anzahl, * Zweistichproben-t-Test. Fett gedruckte p-Werte zeigen statistisch signifikante Unterschiede an (p < 0,05). Die Messstellen sind in Abb. 5 ersichtlich.

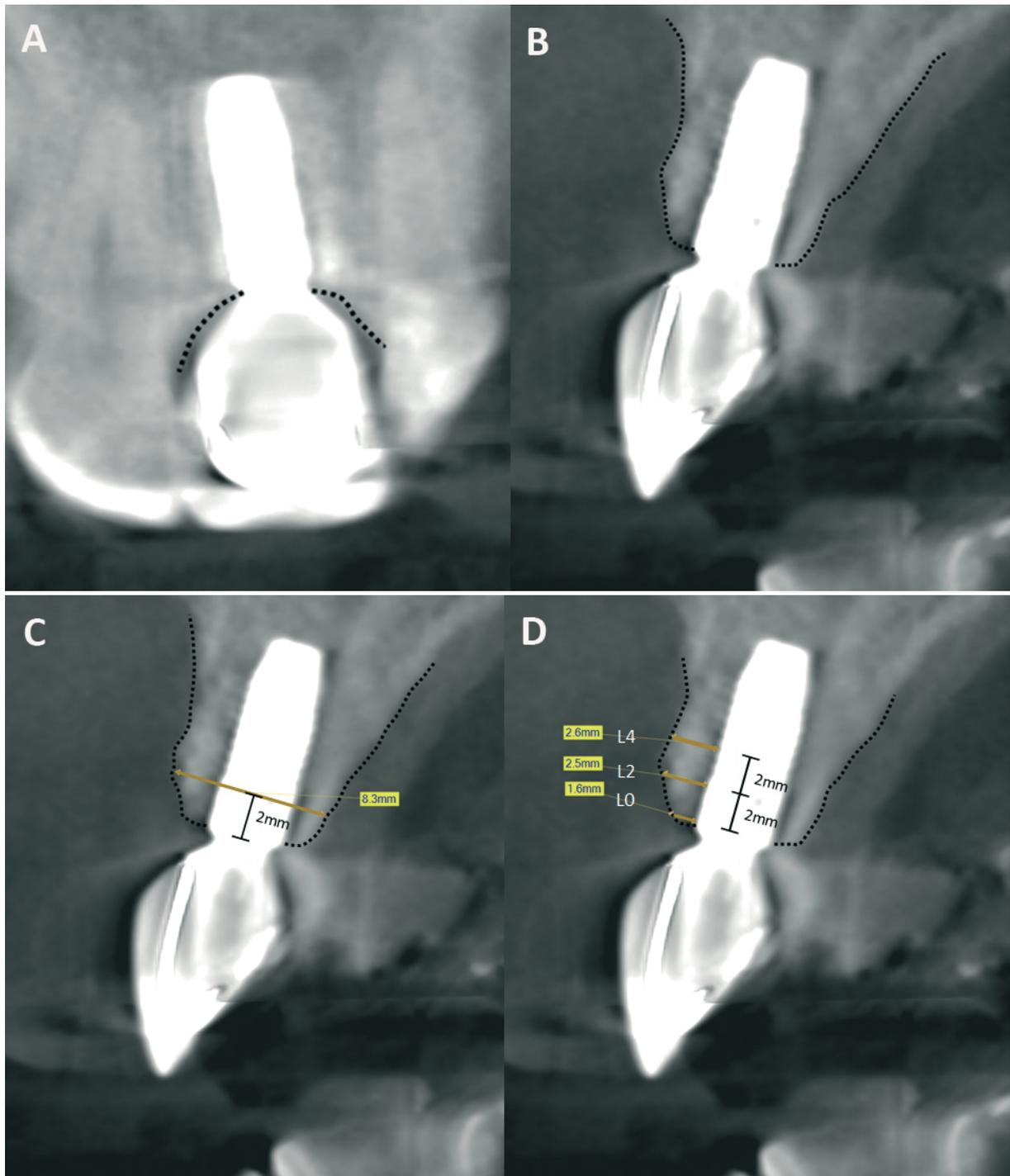


Abb. 9: Radiologische Auswertung eines Patienten aus Gruppe A

(A) Im coronaren Schnitt ist mesial und distal kein Knochenverlust erkennbar. (B) Messung des buccalen Knochenverlustes. Der erste Implantat-Knochenkontakt befindet sich auf dem Referenzpunkt (Implantatschulter). Es liegt kein buccaler Knochenverlust vor. (C) Messung der transversalen Kieferkammbreite. Die transversale Kieferkammbreite 2 mm unter Implantatschulterniveau beträgt 8,3 mm. (D) Messung der buccalen Knochenlamelle auf Höhe der Implantatschulter sowie 2 mm und 4 mm unter der Implantatschulter. Die Breite der buccalen Knochenlamelle beträgt hier entsprechend 1,6 mm, 2,5 mm und 2,6 mm.

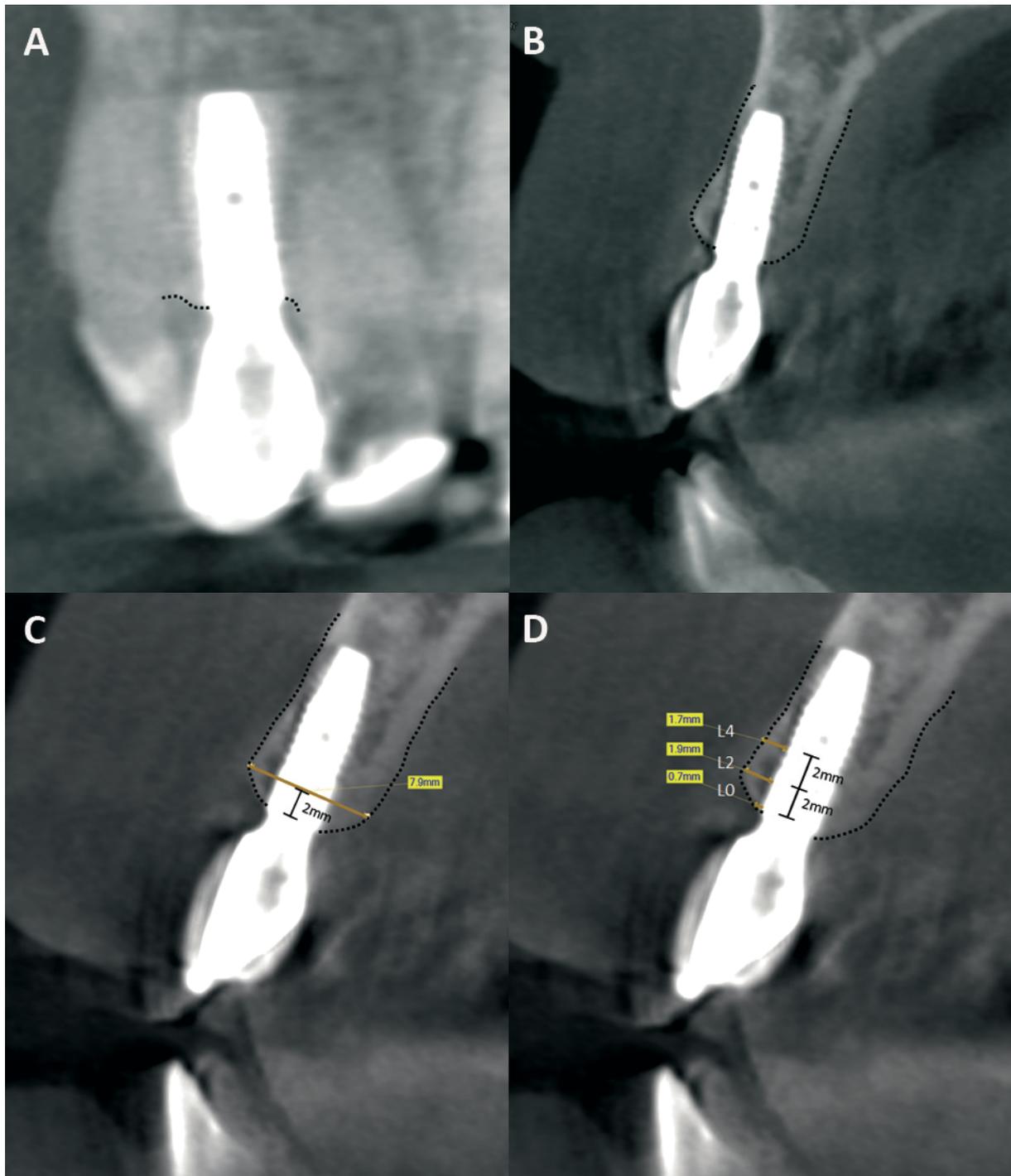


Abb. 10: Radiologische Auswertung eines Patienten aus Gruppe B

(A) Im coronaren Schnitt ist mesial und distal kein Knochenverlust erkennbar. (B) Messung des buccalen Knochenverlustes. Der erste Implantat-Knochenkontakt befindet sich auf dem Referenzpunkt (Implantatschulter). Es liegt kein buccaler Knochenverlust vor. (C) Messung der transversalen Kieferkambreite. Die transversale Kieferkambreite 2 mm unter Implantatschulterniveau beträgt 7,9 mm. (D) Messung der buccalen Knochenlamelle auf Höhe der Implantatschulter sowie 2 mm und 4 mm unter der Implantatschulter. Die Breite der buccalen Knochenlamelle beträgt hier entsprechend 0,7 mm, 1,9 mm und 1,7 mm.

5 Diskussion

Für eine Implantation stellt ein unzureichender alveolärer Restknochen ein Alltagsproblem dar. Wissenschaftliche Daten über postoperative Beschwerden bei lateralen Kieferkammaugmentationen und über den Augmentationserfolg hinsichtlich Komplikationen und der Volumenstabilität des Augmentates während der Einheilung und nach implantologischer Versorgung sind jedoch nur begrenzt verfügbar. Deswegen wurden in dieser Studie zwei additive Methoden zur lateralen Augmentation auf diese Gesichtspunkte hin untersucht.

5.1 Methodenkritik

5.1.1 Methodenwahl

Als Untersuchungsmethode wurde die Form einer prospektiven, einfachblinden, randomisierten klinischen Studie gewählt.

5.1.2 Kritik an der Methode

Die Studienpopulation war hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung homogen. Es gab in diesen beiden Punkten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die Komplikationsrate bei Eingriffen sinkt mit der Erfahrung des Operateurs (Antoun et al., 2017) und steigt mit der Komplexität des Operationsprotokolls (Jemt et al., 2017). Um einen Einfluss durch unterschiedliche operative Vorgehensweisen auszuschließen, wurden sämtliche operativen Eingriffe nach Protokoll und von einem Oralchirurgen mit langjähriger Erfahrung in augmentativen und implantologischen Verfahren durchgeführt.

Da einige Patienten über den Beobachtungszeitraum von 28 Tagen hinaus postoperative Beschwerden angaben, erscheint ein längerer Beobachtungszeitraum sinnvoll. Auf der anderen Seite konnte nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es sich hierbei zum Teil um ungenaue Angaben bzw. Markierungen durch Patienten auf der VAS handelte.

Zur langfristigen Beurteilung der Stabilität des Augmentates beziehungsweise der buccalen Knochenlamelle und der Implantatüberlebensrate wäre ein Beobachtungszeitraum von mehr als einem Jahr wertvoll. Hierfür könnten die Erhebung klinischer und radiologischer Befunde nach beispielsweise fünf und zehn Jahren weitere Erkenntnisse liefern.

Trotz der geringen Anzahl von 15 Probanden pro Gruppe konnten signifikante Unterschiede bei verschiedenen Untersuchungsergebnissen aufgezeigt werden.

5.2 Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur

In der Literatur werden zahlreiche Methoden zur Dokumentation postoperativer Beschwerden beschrieben (Ferreira-Valente et al., 2011; Gkotsi et al., 2012; Hawker et al., 2011; Khatri und Kalra, 2012). Eine hierbei sehr häufig verwendete Methode ist die VAS (Adde et al., 2012; Barone et al., 2011; Christensen et al., 2011). Insbesondere zur Graduierung von Schmerzen wird sie oft eingesetzt. Sie wird hierfür als besonders sensitiv angesehen (Ferreira-Valente et al., 2011). Die Anwendung der VAS ist nicht nur auf Schmerzen begrenzt. Sie kann vielfältig zur Graduierung von subjektiven Empfindungen, wie zum Beispiel von Ästhetik, Komfort und Funktionalität, dienen (Al-Zarea, 2013; de Grandmont et al., 1994; Zitzmann und Marinello, 2000). In zahlreichen Implantatstudien finden unterschiedliche Methoden für die Graduierung und Dokumentation von postoperativen Beschwerden Anwendung (Gonzalez-Santana et al., 2005; Pal et al., 2011). In nur wenigen werden die gleichen Skalierungssysteme benutzt (Farina et al., 2018; Garcia-Blanco et al., 2018). In Studien anderer Fachdisziplinen werden häufiger die gleichen Skalierungssysteme verwendet (Boyer et al., 2015; Muller et al., 2011; Taheri et al., 2018). Bei der VAS wird oft keine Skalierung verwendet (Christensen et al., 2011; Ferreira-Valente et al., 2011; Hawker et al., 2011). In seltenen Fällen wird sie auch mit Skalierung eingesetzt (Al-Zarea, 2013). Messskalen wie die VAS dienen der Darstellung von subjektiven Wahrnehmungen, und als eine solche kann der Schmerz angesehen werden. Methoden zur objektiven Schmerzbewertung, die direkten Zugriff auf physiologische Prozesse ermöglichen, sind in Erforschung, jedoch klinisch noch nicht einsetzbar (Brown et al., 2011). Schwellungen hingegen können sowohl subjektiv als auch durch klinische Messungen mit Maßband oder mittels Ultraschallmessungen objektiv dargestellt werden (Schultze-Mosgau et al., 1995).

Zur Vergleichbarkeit von postoperativen Beschwerden wurde in dieser Studie die VAS sowohl für die Analyse von Schmerzen als auch von Schwellungen angewendet. Hierbei handelt es sich um subjektive Messwerte, welche jedoch die Patientenwahrnehmung anschaulich widerspiegeln. Somit konnte zum einen der Vergleich zwischen Schmerz und Schwellung dargestellt und zum anderen auch die Empfindung des Patienten wiedergegeben werden. Eine klinische oder sonographische Messung der Schwellungen wurde nicht durchgeführt. Inwieweit die subjektiven Messwerte mit der objektiven Schwellung korrelierten konnte daher nicht ermittelt werden.

In der Literatur ist nur eine begrenzte Anzahl an Daten bezüglich postoperativer Schmerzen nach Augmentation verfügbar. Die Daten beziehen sich selten auf die Empfänger- (Thoma et al., 2018) und meist nur auf die Spenderregion (Barone et al., 2011; Gellrich et al., 2013). In dieser Studie wurden die postoperativen Schmerzen sowohl in der Spender- als auch der

Empfängerregion analysiert. Aufgrund der unterschiedlichen Lage sowie Gesichtshälfte von Spender- (Retromolarregion des Unterkiefers) und Empfängerregion (Oberkieferfront) war die Zuordnung der postoperativen Beschwerden zu der entsprechenden Region gut möglich. Die Dokumentation erfolgte zu fünf verschiedenen Zeitpunkten über einen Zeitraum von 28 Tagen. Die wenigen zu diesem Thema publizierten Studien erfassten postoperative Schmerzen nach Augmentation an lediglich einem Zeitpunkt (Gellrich et al., 2013; Thoma et al., 2018). Der Verlauf postoperativer Schmerzen wurde nur in wenigen Studien untersucht (Barone et al., 2011). Andersson befragte Patienten nach Knochenblocktransplantation aus der Kinn- und Retromolarregion in die Oberkieferfront nach Schmerzen im Bereich der Entnahmestelle während der ersten postoperativen Woche (Andersson, 2008). Der Durchschnittswert für postoperative Schmerzen betrug 18 mm (auf einer Skala von 0 mm bis 100 mm) für die Gruppe mit der Knochenentnahme aus der Retromolarregion (Andersson, 2008). Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Untersuchung. Hier lagen die Werte für Gruppe A bei 25 mm am ersten, 19 mm am dritten und 7 mm am siebten Tag. Die entsprechenden Werte für Gruppe B lagen bei 21 mm am ersten, 20 mm am dritten und 7 mm am siebten postoperativen Tag. Diese Schmerzintensität ist vergleichbar mit jener nach operativer Weisheitszahnentfernung. Aznar-Arasa et al. berichten von durchschnittlichen VAS Werten nach operativer Entfernung von retinierten unteren Weisheitszähnen von 20,7 mm nach 24 Stunden, 17,8 mm nach 48 Stunden und 19 mm nach 64 Stunden (Aznar-Arasa et al., 2012). In der vorliegenden Studie wurden die postoperativen Beschwerden über einen relativ langen Zeitraum dokumentiert. Dennoch gaben einige Patienten auch nach 28 Tagen postoperative Beschwerden an. Daher erscheint eine Beobachtung nicht nur für Stunden oder einige Tage (Adde et al., 2012; Gellrich et al., 2013), sondern über einen größeren Zeitraum (Barone et al., 2011), sinnvoll.

Die Analyse der postoperativen Schmerzen zeigte zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung signifikante Unterschiede zwischen Spender- und Empfängerregion. In der Regel wurden die Schmerzen nach Augmentation in beiden Regionen am ersten postoperativen Tag am stärksten empfunden. Dies deckt sich mit der Untersuchung von Adde et al., bei welcher das Maximum der postoperativen Schmerzen nach Weisheitszahnentfernung ebenfalls innerhalb der ersten postoperativen Stunden auftrat (Adde et al., 2012). Hierbei handelt es sich zwar um operative Entfernungen von Weisheitszähnen, jedoch sind die Lokalisation und das Weich- und Hartgewebstrauma mit denen einer retromolaren Knochenentnahme zur Transplantation vergleichbar. Lediglich in der Gruppe der Knochenblocktransplantationen nach Khoury wurde das Schmerzmaximum für den Bereich der Empfängerregion nicht am ersten, sondern am dritten postoperativen Tag angegeben.

Im Bereich der dentoalveolären Chirurgie beziehen sich die meisten Studien mit postoperativer Schwellung auf die operative Entfernung von Weisheitszähnen (Acham et al., 2013; Adde et al., 2012; Bjornsson et al., 2003; Danda et al., 2010; Schultze-Mosgau et al., 1995). In der Literatur gibt es nur wenige Daten zu postoperativen Schwellungen im Bereich der Spenderregion nach Knochenentnahme (Cordaro et al., 2011). Die meisten implantologischen Publikationen mit postoperativer Schwellung untersuchten diese in der Region der Augmentation und Implantation (Bensaha, 2012; Nkenke et al., 2007). Nur selten wird die subjektive Einschätzung des Patienten berücksichtigt (Arisan et al., 2010).

Zu keinem Zeitpunkt der Dokumentation zeigten sich zwischen den beiden Studiengruppen (A und B) bzw. zwischen Spender- und Empfängerregion signifikante Unterschiede der postoperativen Schwellung. Die Schwellung nahm in der Spender- und Empfängerregion vom ersten bis zum dritten postoperativen Tag zu und danach stetig ab. Adde hingegen fand einen signifikanten Schwellungsrückgang bereits 48 Stunden nach operativen Weisheitszahnentfernungen (Adde et al., 2012). Zu diesem Zeitpunkt fand in der vorliegenden Untersuchung keine Dokumentation des Schwellungsgrades statt. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Schwellung am zweiten postoperativen Tag größer war als am dritten, lässt sich somit ein Schwellungsmaximum am zweiten postoperativen Tag mit dem Ergebnis dieser Untersuchung vereinbaren. Lediglich bei der Knochenblocktransplantation nach Khoury trat eine Abweichung auf. Die Schwellung im Bereich der Spenderregion war hier bereits ab dem ersten postoperativen Tag kontinuierlich rückläufig. Eine Begründung hierfür konnte nicht gefunden werden, insbesondere da die Operationszeit zur Knochenentnahme länger und das Trauma bei der Entnahme größer war als bei der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems®. Noch über den siebten postoperativen Tag hinaus berichteten einige Patienten beider Gruppen von Schwellungen sowohl in der Empfänger- wie auch der Spenderregion. Im Gegensatz dazu ermittelten Kainulainen et al. bei Knochenentnahme zur Blocktransplantation aus dem Processus zygomaticus eine durchschnittliche Zeitdauer der Schwellung von viereinhalb Tagen (Kainulainen et al., 2005). In der vorliegenden Untersuchung erfolgte der Zugang zur retromolaren Knochenentnahme bei beiden Techniken über eine Inzision der Mucosa und des Periostes mit anschließender Mobilisation der Weichgewebe. Das Ausmaß postoperativer Morbidität ist mit intraoperativer Weichgewebsmanipulation verbunden (Al-Khayatt und Eliyas, 2008; Esposito et al., 2012). Dies könnte die Ursache sein, weshalb die postoperativen Beschwerden im Bereich der Spenderregion nicht durch eine Reduktion der Knochenentnahme beeinflusst wurden. Diese Begründung könnte ebenfalls auf die Empfängerregion zutreffen. Hier war in allen Fällen eine Lappenmobilisation durch Periostschlitzung für einen spannungsfreien Wundverschluss über dem

Augmentat notwendig. Dabei stellt die Durchtrennung des Periosts und die Dehnung des Weichgewebes eine verstärkte Manipulation und Traumatisierung des Weichgewebes dar. Somit könnte der Einfluss der Weichgewebsmanipulation auf die postoperativen Beschwerden stärker sein als die Augmentation an sich. Über den gesamten Beobachtungszeitraum zeigten sich weder im Bereich der Spender- noch im Bereich der Empfängerregion signifikante Unterschiede der postoperativen Beschwerden (Schmerzen und Schwellung) zwischen den beiden Gruppen. Somit konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden, dass die im Vergleich zur Knochenblocktransplantation weniger invasive Knochenentnahme der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems® einen Einfluss auf die postoperativen Beschwerden hat.

Die Patienten nahmen in der vorliegenden Untersuchung die Schwellung sowohl in der Spender- wie Empfängerregion stärker wahr als die Schmerzen. Im Bereich der Empfängerregion wurde die Schwellung in der ersten postoperativen Woche in beiden Gruppen signifikant stärker als die Schmerzen empfunden. Im Bereich der Spenderregion wurde die Schwellung in Gruppe A ebenfalls signifikant stärker als die Schmerzen bewertet. In Gruppe B war dies ebenso der Fall, jedoch signifikant nur am dritten postoperativen Tag. Dies deutet auf eine gute Analgesie hin und zeigt, dass sich die Patienten insgesamt von der Schwellung stärker beeinträchtigt fühlten.

Analgetika haben einen starken Einfluss auf den Verlauf postoperativer Schmerzen (Christensen et al., 2011). Die Analgesie war in der vorliegenden Studie standardisiert. Eine Maximaldosis von dreimal täglich 400 mg Ibuprofen war vorgegeben. Diese Maximaldosis wurde lediglich von jeweils einem Patienten pro Gruppe überschritten. Die postoperativen Analgetikadosierungen beider Gruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied. Der durchschnittliche Gesamtverbrauch an Analgetika bis zum elften postoperativen Tag betrug 10,5 Tabletten in Gruppe A und 10,8 Tabletten in Gruppe B. Goswami et al. untersuchten den Analgetikaverbrauch nach Extraktion von unteren Weisheitszähnen (Goswami et al., 2018). Der durchschnittliche Gesamtverbrauch betrug hierbei bereits am siebten postoperativen Tag 10,7 Dosen der Kombination aus 400 mg Ibuprofen und 500 mg Paracetamol (Goswami et al., 2018). Dieser Vergleich zeigt einen geringeren Analgetikaverbrauch bei operativen Entnahmen von Knochen aus der Retromolarregion gegenüber nicht-operativen Entfernungen von Zähnen aus der gleichen Region.

Die Operationszeit kann Auswirkung auf den Grad der postoperativen Beschwerden haben (Kim et al., 2013). Die Operationszeit für die Knochenentnahme war in Gruppe A doppelt so lange wie in Gruppe B. Dieser Unterschied war signifikant, hatte jedoch keinen Einfluss auf die postoperativen Beschwerden. Möglicherweise hatte die Weichgewebsmanipulation eine

größere Auswirkung auf die postoperativen Beschwerden als die Operationszeit. Die durchschnittliche Gesamtoperationszeit wiederum war in beiden Gruppen identisch. Dies kann auf einen vergleichsweise hohen Zeitaufwand für die Fixierung des Augmentates in Gruppe B zurückgeführt werden. Die Gesamtoperationszeit hatte somit auch keine Auswirkung auf den Grad der postoperativen Beschwerden.

In der vorliegenden Untersuchung traten in Gruppe A bei 7 %, in Gruppe B bei 73 % der Patienten Komplikationen auf. Eine Übersichtsarbeit von De Groot et al. beschreibt bei 189 durchgeführten autologen Knochentransplantationen das Auftreten von Komplikationen in 9,5 % der Fälle (de Groot et al., 2018). Sakkas et al. dokumentierten bei 279 Patienten in 21 % der Fälle Komplikationen (Sakkas et al., 2017). Die klinischen Komplikationen in der vorliegenden Studie wurden in drei Gruppen (schwerwiegende Frühkomplikationen, schwerwiegende Spätkomplikationen und nicht-schwerwiegende Komplikationen) eingeteilt und dokumentiert. Schwerwiegende Frühkomplikationen, bedingt durch Augmentationsverlust, hatten die Folge, dass eine Implantation nach vier Monaten nicht oder nur durch weitere Maßnahmen möglich war. In insgesamt sechs Fällen kam es zum teilweisen oder vollständigen Verlust des Augmentates. In Gruppe A und B kam es jeweils zu einem infektionsbedingten Augmentatverlust. Zudem wurden vier Augmentate in Gruppe B während der Einheilzeit teilweise oder vollständig resorbiert. In der Literatur werden ebenfalls Teil- und Kompletverluste von Augmentaten bei transplantierten Knochenblöcken sowie unterschiedlichen Augmentationstechniken mit Verwendung von Membranen beschrieben (Acocella et al., 2010; Antoun et al., 2017; Boronat et al., 2010; Maiorana et al., 2005; Sakkas et al., 2017; Urban et al., 2013; Zita Gomes et al., 2016). Hierbei werden Verlustraten von Knochenblocktransplantaten von 0,4 % bis 9,1 % genannt (Boronat et al., 2010; Khoury, 2006; Sakkas et al., 2016; Sakkas et al., 2017). Diese Ergebnisse sind vereinbar mit der Verlustrate von 6,7 % in Gruppe A in der vorliegenden Studie. Zita Gomes et al. berichten von einer Verlustrate von 5 % bei Augmentationen durch GBR unter Verwendung einer Kollagenmembran, bovinem Knochenersatzmaterial und Titan-Mesh (Zita Gomes et al., 2016). Urban et al. dokumentierten ebenfalls eine Verlustrate von 3,2 % bei Augmentationen durch GBR unter Einsatz einer Kollagenmembran und einem Gemisch aus partikuliertem autogenem Knochen und bovinem Knochenersatzmaterial (Urban et al., 2013). Die Verlustrate von 33,3 % in Gruppe B der vorliegenden Untersuchung liegt jedoch weit über den in der Literatur beschriebenen Werten. Der infektionsbedingte Verlust eines Augmentates in Gruppe B liegt im Rahmen, jedoch ist der Grund für die hohe Anzahl an teilweise oder vollständig resorbierten Augmentaten ungeklärt. Möglicherweise beeinflussen entzündliche Fremdkörperreaktionen oder bei der Resorption der PDLLA-Membran entstehende Säuren die

Diskussion

Vaskularisation und Reorganisation des Knochens im Augmentat (Heidemann et al., 2002; Xue et al., 2014). Da die Augmentate zum Zeitpunkt des Eingriffs der Implantation teilweise oder vollständig resorbiert waren, hätte eine längere Einheilzeit der Augmentate zu keiner Verbesserung der Knochenregeneration geführt.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Implantatverlust innerhalb des ersten Jahres nach Implantation als schwere Spätkomplikation definiert. Dies ist ebenfalls als ein Misserfolg zu werten, da ein Implantatverlust den Verlust des implantatgetragenen Zahnersatzes bedingt oder dessen Eingliederung verhindert. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes (ein Jahr nach Implantation) überlebten alle Implantate in Gruppe A. In Gruppe B gingen zwei Implantate noch vor der prothetischen Versorgung zu Verlust. In der Literatur werden bei unterschiedlichen Augmentationstechniken Implantatverlusten im ersten Jahr nach Augmentation zwischen 0 % und 9 % beschrieben (Al-Nawas und Schiegnitz, 2014; Milinkovic und Cordaro, 2014). Dies deckt sich mit den Werten einer Übersichtsarbeit von Kestra et al. (Kestra et al., 2016). Sie ermittelten Implantatüberlebensraten von 94,7 % bei Knochenblockaugmentationen und von 99,3 % bei GBR (Kestra et al., 2016). Da in Gruppe B, bei fünf vollständigen Augmentatverlusten, in lediglich zehn Fällen implantiert werden konnte, entspricht der Verlust von zwei Implantaten einer vergleichsweise sehr hohen Implantatverlustrate von 20 % und einer Rate von 47 % an schwerwiegenden Komplikationen. Die Rate schwerwiegender Komplikationen von 7 % in Gruppe A deckt sich mit den Werten aus der Literatur. Im Rahmen der Literaturrecherche wurde keine Publikation gefunden, die von einer derart hohen Rate schwerwiegender Komplikationen in Verbindung mit augmentativen Verfahren berichtet hätte, wie sie in Gruppe B aufgetreten ist.

Als nicht-schwerwiegende Komplikationen wurden diejenigen klinischen Komplikationen gewertet, welche keinen Einfluss auf eine spätere Implantation hatten. Dies waren Dehiszenzen, Infektionen und Nervverletzungen in der Spenderregion. Die Dehiszenz ist eine häufig beschriebene Komplikation nach augmentativen Maßnahmen (Al-Nawas und Schiegnitz, 2014; Milinkovic und Cordaro, 2014; Rasia-dal Polo et al., 2014; Sanz-Sanchez et al., 2015). Verschiedene Studien zeigen eine Rate von unter 7 % für Dehiszenzen bei autogenen Blocktransplantaten (Khoury, 2006; Sakkas et al., 2016; Sakkas et al., 2017). Bei Augmentationen durch GRB mit resorbierbaren und nicht-resorbierbaren Membranen sowie Titan-Mesh wird über Dehiszenzraten von bis zu 52 % berichtet (Beitlitum et al., 2010; Deeb et al., 2016; Rocuzzo et al., 2007). Diese Daten decken sich ebenfalls mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie mit Dehiszenzraten von 0 % in Gruppe A und 33 % in Gruppe B. Im Rahmen der Literaturrecherche wurde lediglich eine Tierstudie gefunden, welche Kieferkammaugmentationen mit der

Diskussion

Schalentechnik des SonicWeld Rx Systems® untersucht (Iglhaut et al., 2014). Hierbei traten in zwei von zwölf Fällen kleinere Dehiszenzen der PDLLA-Membran auf (Iglhaut et al., 2014). Dies entspricht mit 17 % einer halb so großen Dehiszenzrate wie in der vorliegenden Studie. Häufig führt eine konservative Behandlung der Dehiszenz mit Chlorhexidin-Gel und Chlorhexidinspülungen zu einem Verschluss der Dehiszenz durch sekundäre Granulation (Zita Gomes et al., 2016), sodass eine spätere Implantation weiterhin möglich ist. Allerdings führt das Freiliegen einer Membran im Bereich der Augmentation zu einem vergleichsweise höheren Augmentatverlust als bei Fällen ohne Dehiszenz (Beitlitum et al., 2010).

In der vorliegenden Untersuchung kam es bei jeweils einem Patienten pro Gruppe zu einer akuten Infektion im Augmentatbereich. Diese gingen mit Eiterbildung einher und führten zum vollständigen Verlust der Augmentate. Sakkas et al. berichten von einer Infektionsrate von bis zu 5,7 % bei Augmentationen durch Knochenblocktransplantation (Sakkas et al., 2017). Urban et al. konstatierten bei Augmentationen durch GBR mit resorbierbaren Membranen und einem Gemisch aus partikuliertem autogenem Knochen und bovinem Knochenersatzmaterial eine Infektionsrate von 3,2 % (Urban et al., 2013). Die Infektionsrate der vorliegenden Studie liegt mit 7 % leicht über diesen Werten.

Bei einem Patienten in Gruppe B trat nach Knochenentnahme eine temporäre Hypästhesie des Nervus alveolaris inferior auf. Studien berichten über Raten von temporären Hypästhesien nach retromolarer Knochenentnahme aus dem Unterkiefer von 0,5 % (Khoury und Hanser, 2015) bis zu 10,4 % (Sakkas et al., 2016). Die Rate von 3 % der vorliegenden Studie liegt im unteren Bereich dieser Spanne.

In der klinischen Routine dient die zweidimensionale Röntgendiagnostik zur Beurteilung der Osseointegration von Implantaten (Jung et al., 2013; Levin et al., 2007). Hierbei lässt sich das Knochenniveau im mesialen und distalen Bereich des Implantates beurteilen. Ein möglicher Knochenverlust ist mit dieser Röntgentechnik jedoch nur diagnostizierbar, wenn er diese Bereiche betrifft. Das buccale und palatinale Knochenniveau ist mit dieser Technik nicht beurteilbar. Die vorliegende Studie diente der Untersuchung lateraler Knochenaugmentationen. Hierbei ist die Stabilität des augmentierten Knochens, welcher im buccalen Bereich der Implantate liegt, von Bedeutung. Deshalb wurde ein Jahr nach Implantation jeweils eine dreidimensionale Bildgebung mittels DVT erstellt. Wissenschaftliche Untersuchungen konnten die Eignung des DVTs zur Beurteilung des Augmentationserfolges (Amorfini et al., 2014; Beitlitum et al., 2010; Benavides et al., 2012; Benic et al., 2017) sowie des periimplantären Knochens belegen (Naitoh et al., 2010). In dieser Studie wurden sämtliche Implantate mit der Implantatschulter auf Knochenniveau inseriert. Die Implantatschulter diente somit als Referenzpunkt für die Ermittlung

des Knochenverlustes. Damit war ein möglicher Knochenverlust ein Jahr nach Implantation gut beurteilbar. Hierbei zeigte der Knochenverlust keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Der mesiale und distale Knochenverlust war in beiden Gruppen nahezu gleich null. Der durchschnittliche buccale Knochenverlust betrug 1,9 mm in Gruppe A und 1,65 mm in Gruppe B. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant, jedoch höher als der mesiale und distale Knochenverlust. Roe et al. fanden mittels DVT Knochenverluste im Bereich der buccalen Lamelle an Sofortimplantaten in der Oberkieferfront von durchschnittlich 0,8 mm innerhalb des ersten Jahres nach Implantation (Roe et al., 2012). Dieser Wert deckt sich nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, wobei eine Vergleichbarkeit nur bedingt gegeben ist, da es sich bei dieser Studie um Sofortimplantationen und nicht um sekundäre Implantationen nach Augmentation handelt. Langzeituntersuchungen von zehn Jahren an Sofortimplantaten in der Oberkieferfront zeigen einen deutlich höheren buccalen Knochenverlust, wobei die Funktionalität der Implantate erhalten blieb (Kuchler et al., 2016). Die Resorption der buccalen Lamelle betrug für die Höhen L₀, L₂ und L₄ 0,94 mm, 1,00 mm und 1,01 mm in Gruppe A sowie 0,68 mm, 1,06 mm und 1,04 mm in Gruppe B. Roe et al. fanden bei Sofortimplantaten auf den gleichen Höhen eine durchschnittliche Resorption von 1,23 mm, 0,46 mm und 0,48 mm (Roe et al., 2012). Eine Vergleichbarkeit ist auch hier nur bedingt gegeben, dennoch liegen die Werte in einem ähnlichen Rahmen. Unabhängig von den unterschiedlichen Knochenverlusten, zeigten sich sämtliche Implantate dieser Studie ein Jahr nach Implantation klinisch unauffällig.

5.3 Schlussfolgerungen

Das Ausmaß der postoperativen Beschwerden war bei den hier untersuchten augmentativen Methoden vergleichbar. Bei den postoperativen Schmerzen und Schwellungen traten keine signifikanten Unterschiede auf. Somit konnte gezeigt werden, dass eine Reduktion der Knochenentnahme aus der Retromolarregion mit einer geringeren Entnahmedauer zu keiner Verminderung der postoperativen Beschwerden führt. Des Weiteren erwies sich, dass sich die Patienten durch die postoperative Schwellung stärker beeinträchtigt fühlten als durch die postoperativen Schmerzen.

Im Gegensatz zu Gruppe B war bei Gruppe A die postoperative Schwellung im Bereich der Spenderregion bereits ab dem ersten postoperativen Tag rückläufig. Dieses Ergebnis deckt sich nicht mit den Erkenntnissen in der Literatur. Insbesondere mit Blick auf die vergleichsweise längere Operationszeit und höhere Invasivität bei der Knochenentnahme bei Gruppe A bleiben mögliche Gründe für diese früh einsetzende Regredienz der postoperativen Schwellung unklar.

Diskussion

Die Komplikationsrate lag bei der Knochenblocktransplantation mittels Distanzschrauben nach Khoury bei 7 %, bei der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems® bei 73 %. Die Rate schwerwiegender Komplikationen bei der Knochenblocktransplantation war mit bereits publizierten Komplikationsraten bei lateralen Augmentationen mit autogenen Knochenblöcken vergleichbar. Die Rate schwerwiegender Komplikationen bei der Augmentation mit der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems® lag mit annähernd 50 % weit über den Werten in der Literatur. Diese hohe Anzahl an Komplikationen bedingte einen erheblichen Nachsorgeaufwand mit weiteren operativen Eingriffen. Der augenscheinliche Vorteil einer geringeren Invasivität der Augmentation mit der Schalenteknik gegenüber der Knochenblocktransplantation konnte nicht bestätigt werden. Ein Anhalt auf einen Vorteil für den Patienten bei Nutzung der Schalenteknik ergab sich nicht.

Der augmentierte Knochen war bei beiden Techniken ein Jahr nach Implantation relativ stabil. Der Knochenverlust ein Jahr nach Implantation zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Techniken. Eine Verlängerung des Beobachtungszeitraumes mit radiologischen Nachuntersuchungen mittels DVT könnte Aufschluss über die Langzeitstabilität des augmentierten Knochens geben. Zudem wäre die Ermittlung von Langzeitüberlebensraten der Implantate von Interesse.

Für genauere statistische Auswertungen erscheinen größere Datenmengen durch weitere Studien mit größeren Studienpopulationen sinnvoll. Aufgrund der hohen Komplikationsrate ist dies allerdings für Gruppe B nicht vertretbar.

Des Weiteren wären Erkenntnisse über die hohe Rate an Resorptionen der Augmentate bei der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems® von wissenschaftlichem Interesse.

Insgesamt zeigte sich die Knochenblocktransplantation mittels Distanzschrauben nach Khoury der Schalenteknik des SonicWeld Rx Systems® gegenüber als überlegen.

6 Literaturverzeichnis

1. Acham S, Klampfl A, Truschnegg A, Kirmeier R, Sandner-Kiesling A, Jakse N (2013) Beneficial effect of methylprednisolone after mandibular third molar surgery: a randomized, double-blind, placebo-controlled split-mouth trial. *Clin Oral Investig* 17:1693-1700
2. Acocella A, Bertolai R, Colafranceschi M, Sacco R (2010) Clinical, histological and histomorphometric evaluation of the healing of mandibular ramus bone block grafts for alveolar ridge augmentation before implant placement. *J Craniomaxillofac Surg* 38:222-230
3. Adde CA, Soares MS, Romano MM, Carnaval TG, Sampaio RM, Aldarvis FP, et al. (2012) Clinical and surgical evaluation of the indication of postoperative antibiotic prescription in third molar surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 114:26-31
4. Al-Khayatt AS, Eliyas S (2008) Soft tissue handling during implant placement. *Evid Based Dent* 9:77
5. Al-Nawas B, Schiegnitz E (2014) Augmentation procedures using bone substitute materials or autogenous bone - a systematic review and meta-analysis. *Eur J Oral Implantol* 7: 219-234
6. Al-Zarea BK (2013) Satisfaction with appearance and the desired treatment to improve aesthetics. *Int J Dent* 2013:912368
7. Albrektsson T (1980) Repair of bone grafts. A vital microscopic and histological investigation in the rabbit. *Scand J Plast Reconstr Surg* 14:1-12
8. Albrektsson T, Johansson C (2001) Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur Spine J* 10 96-101
9. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR (1986) The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1:11-25
10. Amorfini L, Migliorati M, Signori A, Silvestrini-Biavati A, Benedicenti S (2014) Block allograft technique versus standard guided bone regeneration: a randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 16:655-667
11. Andersson L (2008) Patient self-evaluation of intra-oral bone grafting treatment to the maxillary frontal region. *Dent Traumatol* 24:164-169
12. Antoun H, Karouni M, Abitbol J, Zouiten O, Jemt T (2017) A retrospective study on 1592 consecutively performed operations in one private referral clinic. Part I: Early inflammation and early implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res* 19:404-412

13. Arisan V, Karabuda CZ, Ozdemir T (2010) Implant surgery using bone- and mucosa-supported stereolithographic guides in totally edentulous jaws: surgical and post-operative outcomes of computer-aided vs. standard techniques. *Clin Oral Implants Res* 21:980-988
14. Arnaud E, Renier D (2009) Pediatric craniofacial osteosynthesis and distraction using an ultrasonic-assisted pinned resorbable system: a prospective report with a minimum 30 months' follow-up. *J Craniofac Surg* 20:2081-2086
15. Aznar-Arasa L, Harutunian K, Figueiredo R, Valmaseda-Castellon E, Gay-Escoda C (2012) Effect of preoperative ibuprofen on pain and swelling after lower third molar removal: a randomized controlled trial. *Int J Oral Maxillofac Surg* 41:1005-1009
16. Barone A, Ricci M, Mangano F, Covani U (2011) Morbidity associated with iliac crest harvesting in the treatment of maxillary and mandibular atrophies: a 10-year analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 69:2298-2304
17. Beitlitum I, Artzi Z, Nemcovsky CE (2010) Clinical evaluation of particulate allogeneic with and without autogenous bone grafts and resorbable collagen membranes for bone augmentation of atrophic alveolar ridges. *Clin Oral Implants Res* 21:1242-1250
18. Benavides E, Rios HF, Ganz SD, An CH, Resnik R, Reardon GT, et al. (2012) Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: the International Congress of Oral Implantologists consensus report. *Implant Dent* 21:78-86
19. Benic GI, Thoma DS, Jung RE, Sanz-Martin I, Unger S, Cantalapedra A, et al. (2017) Guided bone regeneration with particulate vs. block xenogenic bone substitutes: a pilot cone beam computed tomographic investigation. *Clin Oral Implants Res* 28:262-270
20. Bensaha T (2012) Outcomes of flapless crestal maxillary sinus elevation under hydraulic pressure. *Int J Oral Maxillofac Implants* 27:1223-1229
21. Bjornsson GA, Haanaes HR, Skoglund LA (2003) A randomized, double-blind crossover trial of paracetamol 1000 mg four times daily vs ibuprofen 600 mg: effect on swelling and other postoperative events after third molar surgery. *Br J Clin Pharmacol* 55:405-412
22. Bllaca F, Toci E (2016) Dental Implantation of Atrophic Jaws Reconstructed with Iliac Bone Graft Crest - Outcome of Seven Cases. *Open Access Maced J Med Sci* 4:709-713
23. Boronat A, Carrillo C, Penarrocha M, Pennarrocha M (2010) Dental implants placed simultaneously with bone grafts in horizontal defects: a clinical retrospective study with 37 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 25:189-196
24. Bostman O (1994) Economic considerations on avoiding implant removals after fracture fixation by using absorbable devices. *Scand J Soc Med* 22:41-45

25. Boyer JS, London DA, Stepan JG, Goldfarb CA (2015) Pediatric proximal phalanx fractures: outcomes and complications after the surgical treatment of displaced fractures. *J Pediatr Orthop* 35:219-223
26. Brown JE, Chatterjee N, Younger J, Mackey S (2011) Towards a physiology-based measure of pain: patterns of human brain activity distinguish painful from non-painful thermal stimulation. *PloS One* 6:e24124
27. Burger BW (2010) Use of ultrasound-activated resorbable poly-D-L-lactide pins (SonicPins) and foil panels (Resorb-X) for horizontal bone augmentation of the maxillary and mandibular alveolar ridges. *J Oral Maxillofac Surg* 68:1656-1661
28. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M (2009) Bone augmentation procedures in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants* 24 237-259
29. Cho YS, Hwang KG, Park CJ (2013) Postoperative effects of anterior nasal spine bone harvesting on overall nasal shape. *Clin Oral Implants Res* 24:618-622
30. Christensen K, Daniels S, Bandy D, Ernst CC, Hamilton DA, Mermelstein FH, et al. (2011) A double-blind placebo-controlled comparison of a novel formulation of intravenous diclofenac and ketorolac for postoperative third molar extraction pain. *Anesth Prog* 58:73-81
31. Cordaro L, Torsello F, Miuccio MT, di Torresanto VM, Eliopoulos D (2011) Mandibular bone harvesting for alveolar reconstruction and implant placement: subjective and objective cross-sectional evaluation of donor and recipient site up to 4 years. *Clin Oral Implants Res* 22:1320-1326
32. Cristofaro MG GA, Amantea M, Guidice M. (2009) A new system of resorbable rigid three-dimensional fixation using ultrasounds (Sonic Weld Rx + Sonic Pins Rx) adopted in craniofacial traumatology: the author's experience. *IT J Maxillofac Surg* 20:47-53
33. Danda AK, Krishna Tatiparthi M, Narayanan V, Siddareddi A (2010) Influence of primary and secondary closure of surgical wound after impacted mandibular third molar removal on postoperative pain and swelling--a comparative and split mouth study. *J Oral Maxillofac Surg* 68:309-312
34. de Grandmont P, Feine JS, Tache R, Boudrias P, Donohue WB, Tanguay R, et al. (1994) Within-subject comparisons of implant-supported mandibular prostheses: psychometric evaluation. *J Dent Res* 73:1096-1104
35. de Groot RJ, Oomens M, Forouzanfar T, Schulten E (2018) Bone augmentation followed by implant surgery in the edentulous mandible: A systematic review. *J Oral Rehabil* 45:334-343
36. Deeb GR, Wilson GH, Carrico CK, Zafar U, Laskin DM, Deeb JG (2016) Is the Tunnel Technique More Effective Than Open Augmentation With a Titanium-Reinforced Polytetrafluoroethylene Membrane for Horizontal Ridge Augmentation? *J Oral Maxillofac Surg* 74:1752-1756

37. Delloye C, Cornu O, Druetz V, Barbier O (2007) Bone allografts: What they can offer and what they cannot. *J Bone Joint Surg Br* 89:574-579
38. Donos N, Mardas N, Chadha V (2008) Clinical outcomes of implants following lateral bone augmentation: systematic assessment of available options (barrier membranes, bone grafts, split osteotomy). *J Clin Periodontol* 35:173-202
39. Eckelt U, Nitsche M, Muller A, Pilling E, Pinzer T, Roesner D (2007) Ultrasound aided pin fixation of biodegradable osteosynthetic materials in cranioplasty for infants with craniosynostosis. *J Craniomaxillofac Surg* 35:218-221
40. Economopoulos TL, Asvestas PA, Matsopoulos GK, Molnar B, Windisch P (2012) Volumetric difference evaluation of registered three-dimensional pre-operative and post-operative CT dental data. *Dentomaxillofac Radiol* 41:328-339
41. Esposito M, Maghaireh H, Grusovin MG, Ziounas I, Worthington HV (2012) Soft tissue management for dental implants: what are the most effective techniques? A Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implantol* 5:221-238
42. Farina R, Franceschetti G, Travaglini D, Consolo U, Minenna L, Schincaglia GP, et al. (2018) Morbidity following transcrestal and lateral sinus floor elevation: A randomized trial. *J Clin Periodontol* 45:1128-1139
43. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A (2007) G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 39:175-191
44. Felice P, Pistilli R, Lizio G, Pellegrino G, Nisii A, Marchetti C (2009) Inlay versus onlay iliac bone grafting in atrophic posterior mandible: a prospective controlled clinical trial for the comparison of two techniques. *Clin Implant Dent Relat Res* 11 69-82
45. Ferreira-Valente MA, Pais-Ribeiro JL, Jensen MP (2011) Validity of four pain intensity rating scales. *Pain* 152:2399-2404
46. Garcia-Blanco M, Gualtieri AF, Puia SA (2018) A randomized controlled trial comparing nerve block and mandibular infiltration techniques in posterior mandible implant surgeries. *J Clin Exp Dent* 10:e1003-e1010
47. Gellrich NC, Bormann KH, Tehranchian S, Kokemuller H, Suarez-Cunqueiro MM (2013) Containment and contouring (CoCoon) technique: a biologically adequate approach to less invasive autogenous preimplant augmentation of bone. *Brit J Oral Max Surg* 51:880-886
48. Gkotsi A, Petsas D, Sakalis V, Fotas A, Triantafyllidis A, Vouros I, et al. (2012) Pain point system scale (PPSS): a method for postoperative pain estimation in retrospective studies. *J Pain Res* 5:503-510

49. Gonzalez-Santana H, Penarrocha-Diago M, Guarinos-Carbo J, Balaguer-Martinez J (2005) Pain and inflammation in 41 patients following the placement of 131 dental implants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 10:258-263
50. Goswami D, Jain G, Mohod M, Baidya DK, Bhutia O, Roychoudhury A (2018) Randomized controlled trial to compare oral analgesic requirements and patient satisfaction in using oral non-steroidal anti-inflammatory drugs versus benzydamine hydrochloride oral rinses after mandibular third molar extraction: a pilot study. *J Dent Anesth Pain Med* 18:19-25
51. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, French M (2011) Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF-36 BPS), and Measure of Intermittent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP). *Arthrit Care Res* 63 240-252
52. Heidemann W, Jeschkeit-Schubbert S, Ruffieux K, Fischer JH, Jung H, Krueger G, et al. (2002) pH-stabilization of predegraded PDLLA by an admixture of water-soluble sodiumhydrogenphosphate--results of an in vitro- and in vivo-study. *Biomaterials* 23:3567-3574
53. Iglhaut G (2009) The Minimally Invasive Shell Technique for Bone Augmentation. *Oralchirurgie Journal* 3:16-19
54. Iglhaut G, Schwarz F, Grundel M, Mihatovic I, Becker J, Schliephake H (2014) Shell technique using a rigid resorbable barrier system for localized alveolar ridge augmentation. *Clin Oral Implants Res* 25:149-154
55. Isoda K, Ayukawa Y, Tsukiyama Y, Sogo M, Matsushita Y, Koyano K (2012) Relationship between the bone density estimated by cone-beam computed tomography and the primary stability of dental implants. *Clin Oral Implants Res* 23:832-836
56. Jemt T, Karouni M, Abitbol J, Zouiten O, Antoun H (2017) A retrospective study on 1592 consecutively performed operations in one private referral clinic. Part II: Peri-implantitis and implant failures. *Clin Implant Dent Relat Res* 19:413-422
57. Jung RE, Fenner N, Hammerle CH, Zitzmann NU (2013) Long-term outcome of implants placed with guided bone regeneration (GBR) using resorbable and non-resorbable membranes after 12-14 years. *Clin Oral Implants Res* 24:1065-1073
58. Juutilainen T, Patiala H, Ruuskanen M, Rokkanen P (1997) Comparison of costs in ankle fractures treated with absorbable or metallic fixation devices. *Arch Orthop Trauma Surg* 116:204-208
59. Kainulainen VT, Sandor GK, Carmichael RP, Oikarinen KS (2005) Safety of zygomatic bone harvesting: a prospective study of 32 consecutive patients with simultaneous zygomatic bone grafting and 1-stage implant placement. *Int J Oral Maxillofac Implants* 20:245-252

Literaturverzeichnis

60. Keestra JA, Barry O, Jong L, Wahl G (2016) Long-term effects of vertical bone augmentation: a systematic review. *J Appl Oral Sci* 24:3-17
61. Khatri A, Kalra N (2012) A comparison of two pain scales in the assessment of dental pain in East delhi children. *ISRN Dent* 2012:247-351
62. Khojasteh A, Nazeman P, Tolstunov L (2016) Tuberosity-alveolar block as a donor site for localised augmentation of the maxilla: a retrospective clinical study. *Brit J Oral Max Surg* 54:950-955
63. Khoury F, Hanser T (2015) Mandibular bone block harvesting from the retromolar region: a 10-year prospective clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 30:688-697
64. Khoury F HT, Khoury Ch, Neugebauer J, Trepelle T, Tunkel J, Zöller J E (2009a) Augmentative Verfahren in der Implantologie. Knochentransplantate aus der Mandibula: Instrumentarium, Entnahmetechniken und chirurgische Vorgehen. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Seite 178-290
65. Khoury F HT, Khoury Ch, Neugebauer J, Trepelle T, Tunkel J, Zöller J E (2009b) Augmentative Verfahren in der Implantologie. Komplikationen und Risiken bei augmentative Massnahmen. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Seite 465-471
66. Khoury F HT, Khoury Ch, Neugebauer J, Trepelle T, Tunkel J, Zöller J E (2009c) Augmentative Verfahren in der Implantologie. Extraorale Knochenentnahme. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Seite 337-365
67. Khoury F HT, Khoury Ch, Neugebauer J, Trepelle T, Tunkel J, Zöller J E (2009d) Augmentative Verfahren in der Implantologie. Biologie und Physiologie des Implantatlagers unter Berücksichtigung von Transplantationsverfahren. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Seite 2-30
68. Khoury FKC (2006) Mandibular bone block grafts: instrumentation, harvesting technique and application. *JPIO* 25:15-34
69. Kim Y, Nowzari H, Rich SK (2013) Risk of prion disease transmission through bovine-derived bone substitutes: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res* 15:645-653
70. Korsch M RC, Walter W (2013) Resektion statt Augmentation Therapiemöglichkeit beim zahnlosen atrophierten Unterkiefer. *Implantologie* 21:419-426
71. Kuchler U, Chappuis V, Gruber R, Lang NP, Salvi GE (2016) Immediate implant placement with simultaneous guided bone regeneration in the esthetic zone: 10-year clinical and radiographic outcomes. *Clin Oral Implants Res* 27:253-257
72. Lee HG, Kim YD (2015) Volumetric stability of autogenous bone graft with mandibular body bone: cone-beam computed tomography and three-dimensional reconstruction analysis. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 41:232-239

73. Lehmijoki M, Holming H, Thoren H, Stoor P (2016) Rehabilitation of the severely atrophied dentoalveolar ridge in the aesthetic region with corticocancellous grafts from the iliac crest and dental implants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 21:e614-620
74. Levin L, Nitzan D, Schwartz-Arad D (2007) Success of dental implants placed in intraoral block bone grafts. *J Periodontol* 78:18-21
75. Li B, Wang Y (2014) Contour changes in human alveolar bone following tooth extraction of the maxillary central incisor. *J Zhejiang Univ Sci B* 15:1064-1071
76. Lin KY, Bartlett SP, Yaremchuk MJ, Fallon M, Grossman RF, Whitaker LA (1990) The effect of rigid fixation on the survival of onlay bone grafts: an experimental study. *Plast Reconstr Surg* 86:449-456
77. Linde A, Thoren C, Dahlin C, Sandberg E (1993) Creation of new bone by an osteopromotive membrane technique: an experimental study in rats. *J Oral Maxillofac Surg* 51:892-897
78. Ludwig A (2009) Guided Bone Regeneration - Procedure with a Selected System. *Oralchirurgie Journal* 2:30-33
79. Maiorana C, Beretta M, Salina S, Santoro F (2005) Reduction of autogenous bone graft resorption by means of bio-oss coverage: a prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 25:19-25
80. Matsumoto MA, Filho HN, Francischone a E, Consolaro A (2002) Microscopic analysis of reconstructed maxillary alveolar ridges using autogenous bone grafts from the chin and iliac crest. *Int J Oral Maxillofac Implants* 17:507-516
81. Milinkovic I, Cordaro L (2014) Are there specific indications for the different alveolar bone augmentation procedures for implant placement? A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 43:606-625
82. Muller C, Grossjohann B, Fischer L (2011) The use of concentrated heat after insect bites/stings as an alternative to reduce swelling, pain, and pruritus: an open cohort-study at German beaches and bathing-lakes. *Clin Cosmet Investig Dermatol* 4:191-196
83. Naitoh M, Nabeshima H, Hayashi H, Nakayama T, Kurita K, Ariji E (2010) Postoperative assessment of incisor dental implants using cone-beam computed tomography. *J Oral Implantol* 36:377-384
84. Nkenke E, Eitner S, Radespiel-Troger M, Vairaktaris E, Neukam FW, Fenner M (2007) Patient-centred outcomes comparing transmucosal implant placement with an open approach in the maxilla: a prospective, non-randomized pilot study. *Clin Oral Implants Res* 18:197-203

85. Nkenke E, Radespiel-Troger M, Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Winkler G, Neukam FW (2002) Morbidity of harvesting of retromolar bone grafts: a prospective study. *Clin Oral Implants Res* 13:514-521
86. Pal US, Dhiman NK, Singh G, Singh RK, Mohammad S, Malkunje LR (2011) Evaluation of implants placed immediately or delayed into extraction sites. *Natl J Maxillofac Surg* 2:54-62
87. Palmer W, Crawford-Sykes A, Rose RE (2008) Donor site morbidity following iliac crest bone graft. *West Indian Med J* 57:490-492
88. Pryor LS, Gage E, Langevin CJ, Herrera F, Breithaupt AD, Gordon CR, et al. (2009) Review of bone substitutes. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2:151-160
89. Rasia-dal Polo M, Poli PP, Rancitelli D, Beretta M, Maiorana C (2014) Alveolar ridge reconstruction with titanium meshes: a systematic review of the literature. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 19:639-646
90. Retzepi M, Donos N (2010) Guided Bone Regeneration: biological principle and therapeutic applications. *Clin Oral Implants Res* 21:567-576
91. Rocuzzo M, Ramieri G, Bunino M, Berrone S (2007) Autogenous bone graft alone or associated with titanium mesh for vertical alveolar ridge augmentation: a controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 18:286-294
92. Roe P, Kan JY, Rungcharassaeng K, Caruso JM, Zimmerman G, Mesquida J (2012) Horizontal and vertical dimensional changes of peri-implant facial bone following immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: a 1-year cone beam computed tomography study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 27:393-400
93. Rokkanen PU, Bostman O, Hirvensalo E, Makela EA, Partio EK, Patiala H, et al. (2000) Bioabsorbable fixation in orthopaedic surgery and traumatology. *Biomaterials* 21:2607-2613
94. Rothamel D, Schwarz F, Herten M, Engelhardt E, Donath K, Kuehn P, et al. (2008) Dimensional ridge alterations following socket preservation using a nanocrystalline hydroxyapatite paste: a histomorphometrical study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Surg* 37:741-747
95. Sakkas A, Ioannis K, Winter K, Schramm A, Wilde F (2016) Clinical results of autologous bone augmentation harvested from the mandibular ramus prior to implant placement. An analysis of 104 cases. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW* 5:Doc21
96. Sakkas A, Wilde F, Heufelder M, Winter K, Schramm A (2017) Autogenous bone grafts in oral implantology-is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *Int J Implant Dent* 3:23

97. Sanz-Sanchez I, Ortiz-Vigon A, Sanz-Martin I, Figuero E, Sanz M (2015) Effectiveness of Lateral Bone Augmentation on the Alveolar Crest Dimension: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res* 94:128-142
98. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T (2003) Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 23:313-323
99. Schultze-Mosgau S, Schmelzeisen R, Frolich JC, Schmele H (1995) Use of ibuprofen and methylprednisolone for the prevention of pain and swelling after removal of impacted third molars. *J Oral Maxillofac Surg* 53:2-7
100. Simion M, Fontana F (2004) Autogenous and xenogeneic bone grafts for the bone regeneration. A literature review. *Minerva Stomatol* 53:191-206
101. Simonds RJ, Holmberg SD, Hurwitz RL, Coleman TR, Bottenfield S, Conley LJ, et al. (1992) Transmission of human immunodeficiency virus type 1 from a seronegative organ and tissue donor. *N Engl J Med* 326:726-732
102. Spiekermann H (1994) Farbatlanten der Zahnmedizin 10 In: H. RK, F. WH (Hrsg.). Implantologie. Thieme, Stuttgart, Seite 94-100
103. Taheri P, Khosrawi S, Mazaheri M, Parsa MA, Mokhtarian A (2018) Effect of extracorporeal shock wave therapy on improving burn scar in patients with burnt extremities in Isfahan, Iran. *J Res Med Sci* 23:81
104. Takahashi N UN, Takami M, Suda T (2002) Principles of bone biology. In: Bilezikian JP RL, Rodan GA (Hrsg.). Cells of bone: osteoclast generation. Academic Press, San Diego, Seite 109-126
105. Thoma DS, Payer M, Jakse N, Bienz SP, Husler J, Schmidlin PR, et al. (2018) Randomized, controlled clinical two-centre study using xenogeneic block grafts loaded with recombinant human bone morphogenetic protein-2 or autogenous bone blocks for lateral ridge augmentation. *J Clin Periodontol* 45:265-276
106. Traini T, Degidi M, Sammons R, Stanley P, Piattelli A (2008) Histologic and elemental microanalytical study of anorganic bovine bone substitution following sinus floor augmentation in humans. *J Periodontol* 79:1232-1240
107. Tran Van PT, Vignery A, Baron R (1982) Cellular kinetics of the bone remodeling sequence in the rat. *Anat Rec* 202:445-451
108. Urban IA, Jovanovic SA, Lozada JL (2009) Vertical ridge augmentation using guided bone regeneration (GBR) in three clinical scenarios prior to implant placement: a retrospective study of 35 patients 12 to 72 months after loading. *Int J Oral Maxillofac Implants* 24:502-510

109. Urban IA, Nagursky H, Lozada JL (2011) Horizontal ridge augmentation with a resorbable membrane and particulated autogenous bone with or without anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 22 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 26:404-414
110. Urban IA, Nagursky H, Lozada JL, Nagy K (2013) Horizontal ridge augmentation with a collagen membrane and a combination of particulated autogenous bone and anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 25 patients. *Int J Periodontics Restorative Dent* 33:299-307
111. Urban T, Wenzel A (2010) Discomfort experienced after immediate implant placement associated with three different regenerative techniques. *Clin Oral Implants Res* 21:1271-1277
112. Xue AS, Koshy JC, Weathers WM, Wolfswinkel EM, Kaufman Y, Sharabi SE, et al. (2014) Local foreign-body reaction to commercial biodegradable implants: an in vivo animal study. *Craniofacial Trauma Reconstr* 7:27-34
113. Zadeh HH (2004) Implant site development: clinical realities of today and the prospects of tissue engineering. *J Calif Dent Assoc* 32:1011-1020
114. Zins JE, Whitaker LA (1983) Membranous versus endochondral bone: implications for craniofacial reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 72:778-785
115. Zita Gomes R, Paraud Freixas A, Han CH, Bechara S, Tawil I (2016) Alveolar Ridge Reconstruction with Titanium Meshes and Simultaneous Implant Placement: A Retrospective, Multicenter Clinical Study. *Biomed Res Int* 2016:5126838
116. Zitzmann NU, Marinello CP (2000) Treatment outcomes of fixed or removable implant-supported prostheses in the edentulous maxilla. Part I: patients' assessments. *J Prosthet Dent* 83:424-433

7 Publikationen

Augello M, Kasprzyk S, Grätz KW, Mutzbauer TS (2009). A comparison of intramuscular versus inhaled epinephrine in humans: A pilot study. *Acta Stomatol Croat* 43:225-233

Kasprzyk S, Damerau G, Grätz KW, Locher MC (2010). Primäres Non-Hodgkin-Lymphom des Unterkiefers: ein Fallbericht. *Quintessenz* 61:141-146

Kasprzyk S, Damerau G, Locher MC (2010). Mukoepidermoides Karzinom einer kleinen Speicheldrüse: ein Fallbericht. *Quintessenz* 61:249-253

Korsch M, Robra B-P, Kasprzyk S, Walther W (2014). Patients' preception of postoperative discomfort after bone graft: A parallel randomized clinical study of two techniques for lateral bone graft. *Implantologie* 22:379-388

Korsch M, Walther W, Kasprzyk S (2015). SonicWeld: Ein Fallbericht mit Rekonstruktion des Kieferkamms bei ausgeprägter lateraler und vertikaler Atrophie. *Deutscher Ärzte-Verlag Z Zahnärztl Impl* 31:321-329

Bartols A, Kasprzyk S, Walther W, Korsch M (2018). Lateral alveolar ridge augmentation with autogenous block grafts fixed at a distance versus resorbable Poly-D-L-Lactide foil fixed at a distance: A single-blind, randomized, controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 29:1-12

Korsch M, Kasprzyk S, Walther W, Bartols A (2019). Lateral alveolar ridge augmentation with autogenous block grafts fixed at a distance versus resorbable Poly-D-L-Lactide foil fixed at a distance: 5-year results of a single-blind, randomized, controlled trial. *Int J Oral Implantol* 12:299-312

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen recht herzlich danken, die zum Gelingen der vorliegenden Dissertationsschrift beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Michael Korsch, M.A., Leiter der Oralchirurgie der Akademie für Zahnärztliche Fortbildung Karlsruhe, für die freundliche Überlassung des Themas, die wertvolle Unterstützung und großartige Hilfe im Rahmen der gesamten Studie. Insbesondere bedanke ich mich für seinen tatkräftigen Beistand und sein besonderes Engagement, wodurch er mir diese Arbeit überhaupt ermöglicht hat, sowie für seine hervorragende und stets freundliche und geduldige Betreuung.

Herrn Prof. Dr. Matthias Hannig gilt ebenfalls besonderer Dank für die Aufnahme meiner wissenschaftlichen Tätigkeit an der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde der Universität des Saarlandes. Er hat mir die Promotion somit überhaupt ermöglicht.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Prof. Dr. Winfried Walther, Direktor der Akademie für Zahnärztliche Fortbildung Karlsruhe, für die Möglichkeit, diese interessante Studie an der Akademie durchführen zu können. Ich danke für seine stets kompetente Beratung und seine stets freundliche sowie hilfreiche Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt auch meiner gesamten Familie für ihren stetigen Rückhalt, ihre liebevolle Unterstützung, ihren fortwährenden Zuspruch und vor allem ihr Verständnis.

9 Lebenslauf

Aus Datenschutzgründen entfernt.

Lebenslauf

10 Anhang

Anhang 1: Patienteninformation

Herr Mustermann
Musterstrasse
Karlsruhe

Patienteninformation

Sehr geehrter Patient, sehr geehrte Patientin,

Eine Mindestbreite des Kieferknochens ist Voraussetzung für eine Implantation. In vielen Fällen ist dies nicht gegeben, sodass vor der Implantation der Knochen in der Breite aufgebaut werden muss.

Mit der beabsichtigten Studie „**Transversale Augmentation des Kieferknochens zur Aufnahme dentaler Implantate mit und ohne Knochenentnahme**“ soll bei Patienten mit zu geringem Knochenangebot ein Knochenaufbau auf einfachste Weise durch die unten beschriebenen Techniken erreicht werden.

Wir werden drei erprobte Techniken verwenden um schmalen Knochen zu verbreitern:

- 1. Knochenblocktransplantation mit Distanzschrauben nach Prof. Dr. Dr. Khoury:**
Bei dieser Technik wird aus dem Kieferwinkel ein Stück Knochen entnommen. Eine dünne Knochenscheibe wird von diesem Knochenstück abgetrennt, der Rest wird kleingemahlen. Zusätzlich werden weitere Knochenspäne aus dem Kieferwinkel gewonnen. Die Knochenscheibe wird mit Schrauben auf Distanz zum Knochendefekt fixiert. Der entstandene Hohlraum wird mit den kleingemahlten und den gewonnenen Spänen aufgefüllt. Dadurch wird eine deutliche Knochenverbreiterung erreicht. Abschließend wird die Wunde vernäht.
Nach 4 Monaten wird durch einen weiteren Eingriff das Implantat eingesetzt. Zeitgleich werden die Schrauben, welche zur Fixierung der Knochenscheibe dienten, entfernt.
- 2. Schalenteknik des SonicWeld Rx[®] mit Knochenentnahme vom Kieferwinkel:**
Bei dieser Technik wird anstatt der Knochenscheibe eine auflösbare Membran mit auflösbaren Pins auf Distanz zum Knochendefekt fixiert. Der entstandene Hohlraum wird mit Knochenspänen aus dem Kieferwinkel und Knochenersatzmaterial vom Rinderknochen aufgefüllt.
Nach 4 Monaten wird durch einen weiteren Eingriff das Implantat eingesetzt. Eine Entfernung von Membran und Pins ist nicht notwendig, da diese auflösbar sind.
- 3. Schalenteknik des SonicWeld Rx[®] Systems ohne Knochenentnahme vom Kieferwinkel:**
Diese Technik entspricht der unter Punkt 2 genannten. Jedoch ist eine Knochenentnahme aus dem Kieferwinkel nicht notwendig. Der Knochendefekt wird nur mit Knochenersatzmaterial vom Rinderknochen aufgefüllt.
Nach 4 Monaten wird durch einen weiteren Eingriff das Implantat eingesetzt.

Durch eine anschließende Digitale Volumentomografie (3D Bildgebung), welche zur Implantatplanung benötigt wird, soll die Breite der erzielten Knochenneubildung ermittelt werden.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig und kann jederzeit widerrufen werden. Sollten Sie nicht an dieser Studie teilnehmen entstehen für Sie keinerlei Nachteile.

Die in dieser Studie anfallenden Daten und bildgebenden Datensätze werden anonymisiert und pseudonymisiert.

Die Ergebnisse der Studie werden nur in allgemein statistischer Aussage formuliert.

Wir werden keine individuellen Daten veröffentlichen, aus denen Sie persönlich identifiziert werden könnten.

Wenn Sie sich für die Teilnahme an der Studie entscheidend bitten wir Sie die beigefügte Einwilligungserklärung zu unterschreiben.

Für Ihre Mitarbeit möchten wir uns bei Ihnen herzlich bedanken.

Prof. Dr. Winfried Walther

Direktor der Akademie

Dr. Michael Korsch

Leiter der Chirurgie

Anhang 2: Einverständniserklärung

Einverständniserklärung

Herr Mustermann

Musterstrasse 3

Karlsruhe

Geb. Datum

Karlsruhe,

Ich bestätige, dass ich von Herrn Dr. med. dent. Michael Korsch aufgeklärt worden bin über:

1. Die Vorgehensweise der geplanten Operation, welche die Verbreiterung des Knochenangebotes vor Implantation zum Ziel hat. Alternative, bereits in der Praxis angewandte Operationstechniken wurden mir ausführlich dargestellt (Knochenaufbau durch Eigenknochen, mit tierischem oder künstlichem Knochenersatzmaterial).
2. Als mögliche Komplikationen nach erfolgtem Eingriff, welche den alternativen Operationstechniken entsprechen, wurden mir genannt: Wundschmerz, Schwellung, Nachblutung, Infektion, Wundheilungsstörung, Knochenverlust, Zahnverletzung, Nervverletzung (Zunge und Lippe) mit Sensibilitätsstörung, notwendiger Zweiteingriff, Misserfolg des Eingriffs, Verlust des Knochenaufbaus und eingeschränkte Nahrungsaufnahme nach dem operativen Eingriff.
3. Bei Ablehnung zur Teilnahme an dieser Studie entstehen für mich keine Nachteile.

Ich versichere, dass mir alle Fragen zum Operationsablauf, zur Datenverwendung, zur Datenarchivierung, zum Forschungsprojekt und sonstige etwaige Fragen beantwortet wurden.

Ich bin davon in Kenntnis gesetzt worden, dass ich von Dr. Michael Korsch, der die Aufnahmen durchführt, jederzeit zusätzliche Informationen einholen kann.

.....
(Leiter der Chirurgie)

.....
(Unterschrift des Patienten bzw. dessen gesetzlichen Vertreters)

Anhang 3: Dokumentationsbögen für postoperative Beschwerden

Patientenname:

Region:

1. Postoperative Beschwerde-Dokumentation (Augmentation)

Schmerzen in der Spenderregion (Knochenentnahme)

Datum:

1. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

3. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

7. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

14. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

28. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Patientenname:

Region:

2. Postoperative Beschwerde-Dokumentation (Augmentation)

Schmerzen in der Empfängerregion (Knochenaufbau)

Datum:

1. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

3. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

7. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

14. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Datum:

28. Tag postoperativ:

Keine Schmerzen

unerträgliche Schmerzen



Patientenname:

Region:

3. Postoperative Beschwerde-Dokumentation (Augmentation)

Schwellung in der Spenderregion (Knochenentnahme)

Datum:

1. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

3. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

7. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

14. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

28. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Patientenname:

Region:

4. Postoperative Beschwerde-Dokumentation (Augmentation)

Schwellung in der Empfängerregion (Knochenaufbau)

Datum:

1. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

3. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

7. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

14. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Datum:

28. Tag postoperativ:

Keine Schwellung

unerträgliche Schwellung



Anhang 4: Dokumentationsbogen für Schmerzmittelverbrauch

Ibuprofen(400 mg)-Einnahme

Bitte tragen Sie die Anzahl der eingenommenen Schmerztabletten (Ibuprofen 400 mg) pro Tag in das entsprechende Kästchen (1-28) ein. Die Zahlen 1-28 geben den Tag nach dem Eingriff an.

1. Woche	1	2	3	4	5	6	7
2. Woche	8	9	10	11	12	13	14
3. Woche	15	16	17	18	19	20	21
4. Woche	22	23	24	25	26	27	28