

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde  
der Universität zu Köln  
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. J. E. Zöller

**Klinische, kontrollierte, prospektive  
Kohortenstudie  
zur Untersuchung der Effektivität einer azellulären  
dreidimensionalen Kollagenmatrix zur Verdickung  
der fazialen Mukosa nach Sofortimplantation**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Leonie Francis Debring  
aus Münster

promoviert am 08.März 2023

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln  
Druckjahr 2023

Dekan:           Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink  
1. Gutachter: Privatdozent Dr. med. dent. A. J. L. Happe  
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. T. L. Leschinger

## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.<sup>1</sup>

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten.

*Privatdozent Dr. med. dent. Arndt Happe*  
*Professor Dr. Jörg Neugebauer*  
*Zahntechnikermeister Vincent Fehmer*

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mein Betreuer PD Dr. Arndt Happe führte mich in mehreren Doktorandenseminaren in die Thematik ein und erklärte mir ausführlich die Rahmenbedingungen der Studie.

Alleine: Literaturrecherche

Alleine: Organisation des Follow-up Recalls und Überwachung der Vollständigkeit der Unterlagen und Messwerte.

Alleine: Interviews zu den Schmerzempfindungen auf der VAS

Alleine: nach Kalibrierung: Auswertung der klinischen Fotodokumentationen meines Betreuers PD Dr. Happe

Der Zahntechnikermeister Vincent Fehmer von der prothetischen Abteilung der Universität Genf (Direktorin Prof. Dr. Irena Sailer) machte mich mit der onlinebasierten Software SMOP (SwissMeda) vertraut. Er unterstützte mich z.T. bei den volumetrischen Auswertungen der Modellscans, die ich ansonsten selbstständig mit SMOP durchführte.

Die deskriptive Statistik wurde von mir selbstständig mit (Microsoft Excel) ausgeführt. Bei der weiterführenden statistischen Auswertung der Daten mit (IBM SPSS) erhielt ich Unterstützung von Prof. Dr. Jörg Neugebauer.

Bei der Erstellung des englischen Manuskripts erhielt ich Hilfe meines Betreuers PD Dr. Arndt Happe, der auch den Einreichungsprozess und die verschiedenen Korrekturschleifen betreute.

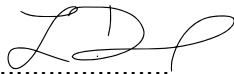
Die Erstellung der vorliegenden Dissertation führte ich selbstständig durch.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 01.09.2022

Unterschrift: .....

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'LDF'.

<sup>1</sup>Bei kumulativen Promotionen stellt nur die eigenständig verfasste Einleitung und Diskussion die Dissertationsschrift im Sinne der Erklärung gemäß dieser Erklärung dar.

## Danksagung

Mein Dank geht zuallererst an meinen Doktorvater Herrn PD Dr. Arndt Happe, der mich auf das Thema meiner Doktorarbeit hinwies und mir stets zur Seite stand. Danke dafür Arndt.

Vielen Dank auch an Prof. Dr. Jörg Neugebauer für die Hilfe bei der statistischen Auswertung. Bei Vincent Fehmer möchte ich mich bedanken, für die Unterstützung bei der digitalen Volumenauswertung.

Ein weiterer Dank geht an Elena Winkler, die mir bei der Korrektur des Manuskripts geholfen hat.

Ein großer Dank geht an meine Familie, meinen Partner und an meine Freunde für die moralische Unterstützung.

Diese Arbeit möchte ich meinen Eltern widmen, Herrn Rolf Lange-Debring und Frau Christa  
Debring.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>8</b>
2.1	Erfolgskriterien für Implantate	8
2.2	Geschichte der Sofortimplantation	10
2.3	Erfolgsfaktoren bei der Sofortimplantation	13
2.3.1.	Aktive Parodontitis/ parodontale Vorschädigung	15
2.3.2.	Nikotinabusus	15
2.3.3.	Apikale Läsionen an benachbarten Zähnen	16
2.3.4.	Beschädigte bukkale Lamelle	17
2.3.5.	Parodontaler Gewebephänotyp	17
2.4	Alveolenheilung und Volumenverlust	18
2.4.1.	Implantationszeitpunkte	20
2.5	Strategien zum Volumenerhalt bei Sofortimplantation	21
2.5.1.	Entnahme von Bindegewebs-transplantaten	23
2.5.2.	Dermale Matrices	23
2.6	Digitale Auswertung von Volumenveränderungen des Kieferkamms	24
2.7	Zielsetzung der Studie	25
<b>3.</b>	<b>PUBLIKATION</b>	<b>26</b>
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>38</b>
<b>5.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>42</b>

## 1. Zusammenfassung

Ziel dieser randomisierten Studie war, einen Vergleich zwischen einem klassischen Bindegewebestransplantat und einem xenogenen Ersatzmaterial in Verbindung mit einer Sofortimplantation in der ästhetischen Zone in Bezug auf Volumenunterschied und der postoperativen Morbidität zu ziehen. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass es keinen signifikanten Volumenunterschied gibt, sehr wohl aber einen bei den klinischen Parametern, wie Schmerz und postoperativen Komplikationen.

Um den Patientenkomfort durch geringere postoperative Komplikationen und Schmerzen zu steigern, aber dabei keinen Abstrich bei der Ästhetik machen zu müssen, sind Ersatzmaterialien eine sehr gute Alternative zu der klassischen Verdickung durch ein BGT.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Erfolg einer Sofortimplantation im ästhetischen Bereich sehr von der Patientenselektion und dem chirurgischen Protokoll abhängig ist. Bereits vor einer Extraktion sollte die Situation unter diesem Gesichtspunkt beurteilt werden und der richtige Zeitpunkt für die Implantation geplant werden. Vor allem die anatomische Situation und im Besonderen die Beschaffenheit der Alveole und der Gewebemorphotyp sind wichtige Prognosefaktoren. Wenn die Auswahlkriterien für die Sofortimplantation gegeben sind und das richtige chirurgische Protokoll eingehalten wird, können mit beiden Methoden Implantatversorgungen ähnliche Ergebnisse realisiert werden.

Ausreichende Langzeitergebnisse fehlen bis zum jetzigen Zeitpunkt aber noch und die vorliegenden Ergebnisse sollten mit größeren Kohorten verifiziert werden.



## 2. Einleitung

Seit Beginn der 1980er Jahre wurden dentale Implantate für die Versorgung von zahnlosen Patientinnen konzipiert, um einen funktionellen, festsitzenden Zahnersatz zu ermöglichen.<sup>1</sup> Aufgrund der guten klinischen Ergebnisse wurde der Indikationsbereich mit der Zeit erweitert und zeigte infolge auch bei teilbezahnten Patienten sehr gute Ergebnisse.<sup>2,3</sup> Neben diesen anderen Indikationen der unbezahnten oder teilbezahnten Patienten sind Implantate heute in der Einzelzahnversorgung im Oberkieferfrontzahnbereich nach Zahnverlust und intakten Nachbarzähnen eine Standardversorgung mit hoher Vorhersagbarkeit.<sup>4,5</sup> Mit dieser Erweiterung des Indikationsbereiches auf die ästhetische Zone, kamen neue Herausforderungen auf den implantologisch tätigen Zahnarzt zu. Die ästhetische Qualität des Ergebnisses wurde lange Zeit nicht berücksichtigt. Für den Patienten jedoch ist ein Hauptanliegen bei Frontzahnimplantatversorgungen ein ästhetisch zufriedenstellendes Ergebnis.<sup>6</sup> Somit sind die Erfolgskriterien der Implantatversorgung nicht mehr allein auf biologische und radiologische Aspekte beschränkt.<sup>7,8</sup> Der zunehmend hohe ästhetische Anspruch an Implantate und die Rekonstruktion der dentofazialen Harmonie stellt für den behandelnden Implantologen allerdings oft eine große Herausforderung dar.<sup>8</sup>

Für ein natürliches und zufriedenstellendes Ergebnis ist nicht nur die perfekte Gestaltung der prothetischen Versorgung ausschlaggebend, sondern vielmehr auch die Beschaffenheit der periimplantären Gewebe.<sup>7</sup> Daher wurden Anfang der 2000er Jahre erste Vorschläge für eine objektive Bewertung der ästhetischen Ergebnisse von Implantatversorgungen von wissenschaftlicher Seite gemacht.<sup>7,8</sup> Traditionell wurde der Erfolg eines Implantats aus akademischer Sicht zunächst auf das Verbleiben der Funktion in der Mundhöhle definiert. Die Langlebigkeit des erzielten Ergebnisses ist für die Patientenzufriedenheit unabdingbar. Zudem ist auch der Patientenkomfort durch Reduzierung der postoperativen Morbidität ein wichtiger Faktor und diese sogenannten *patient-reported outcome measures* werden heute in klinischen Studien regelmäßig evaluiert, um z.B. Schmerz und psychosoziale Effekte zu untersuchen.<sup>9,10</sup> In den vergangenen vier Jahrzehnten folgten verschiedene Vorschläge, um allgemeine Kriterien für den Erfolg von dentalen Implantaten zu definieren.

### 2.1 Erfolgskriterien für Implantate

Fehlende Zähne mittels dentaler Implantate prothetisch zu rehabilitieren ist eine etablierte Therapie in der Zahnheilkunde. Der Indikationsbereich hat sich auf Grund technischer

Weiterentwicklung und klinischer Langzeiterfahrung stetig vergrößert. Um den Erfolg eines therapeutischen Verfahrens realistisch einschätzen zu können, sind Implantologen seit Beginn der 1980er Jahre bemüht, Erfolgskriterien zu definieren.

Per-Ingvar Brånemark<sup>11</sup> prägte in den frühen 1960er Jahren den Begriff der Osseointegration, welcher lange als Grundvoraussetzung für den Implantationserfolg galt. Jedoch zeigte sich über die Jahre, dass es kein generelles empirisches Übereinkommen hinsichtlich der Erfolgs-, Komplikations- und Überlebensraten von Implantaten gibt. Zahlreiche Kombinationen von Erfolgskriterien wurden vorgeschlagen, keine konnte sich jedoch durchsetzen. In fast allen Vorschlägen zeigte sich aber, dass die Überlebensrate nur peripher als Bewertung eines Erfolges herangezogen werden kann. Um die Argumente zu schärfen, wird an dieser Stelle kurz auf den Unterschied zwischen Überlebensrate, In-Situ Rate und Erfolgsrate eingegangen: Die Überlebensrate beschreibt den prozentualen Anteil der Implantate, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt noch in situ befinden. An dieser Stelle wird oft die Kaplan-Meier-Methode<sup>12</sup> angewandt. Es handelt sich hierbei um ein statistisches Verfahren zur Analyse von Überlebenszeit bzw. Verweildauer von Implantaten, bei dem die mittlere Überlebensdauer ermittelt – also wie viele Implantate nach welcher Zeit noch in Situ sind – gemessen wird. Hier wird die Wahrscheinlichkeit des Implantat-Verlusts im Hinblick auf seine Verweildauer im Mund berechnet. Diese Angabe ist rein quantitativ, da der Zustand der periimplantären Weichgewebe und der qualitative Zustand des Implantates an dieser Stelle keine Beachtung finden.<sup>12</sup>

Die Erfolgsrate kann mittels definierter Erfolgskriterien bestimmt werden. Ein erster Kriterienkatalog wurde 1978 auf der *National Institutes of Health Consensus Development Conference*<sup>13</sup> formuliert. Auch wenn er heute nicht mehr in dieser Form angewandt wird, stellt er den ersten Konsens für die Erfolgsrate der Implantate dar und soll daher kurz dargelegt werden:

- das Implantat ist in situ
- die Mobilität beträgt weniger als 1 mm in jede Richtung
- eine röntgenologische periimplantäre Transluzenz ist nicht größer als 1/3 der vertikalen Implantatlänge
- Nach 5 Jahren Belastung sollte die Überlebensrate der Implantate mindestens 75% betragen
- eine eventuell vorhandene Mukositis ist der Therapie zugänglich. Es bestehen:
  - a) keine Symptome für eine Infektion
  - b) keine Verletzung benachbarter Zähne
  - c) keine Parästhesie oder Anästhesie
  - d) keine Verletzung des Mandibularkanales, der Kieferhöhle oder des Nasenbodens

Albrektsson et al.<sup>3</sup> fassten 1986 die Erfolgskriterien bereits deutlich strenger zusammen. Hier galten erst Raten ab 85 % nach fünf Jahren Beobachtungszeitraum und 80 % nach einem zehnjährigen Zeitraum als Erfolg. Zudem durfte nur das unverblockte Einzelzahnimplantat keine Mobilität aufweisen. Ab Beginn der 1990er Jahre wurden auch subjektive Patientenurteile und später die Beurteilung des periimplantären Weichgewebes mit einbezogen.<sup>14</sup>

Resümierend lässt sich feststellen, dass der Vergleich von Überlebens-, Komplikations- und Erfolgsraten von Implantaten insofern schwierig ist, da es innerhalb der Forschung kein Übereinkommen hinsichtlich einheitlicher Definitionen gibt. Resümierend aus der genannten Literatur zeigt sich jedoch eindeutig, wie ungeeignet die Überlebensrate zur Bewertung des Implantaterfolgs ist. Selbst nach zahlreichen Studien, deren Kriterien zwar ähnlich sind, dennoch in unterschiedlichen Zusammenstellungen und in unterschiedlicher Gewichtung auftreten, lässt sich nur schlecht eine Prognose für den Gebrauch in Zukunft aussprechen. Eindeutig ist jedoch, dass die Kriterien von Albrektsson et al.<sup>3</sup> immer wieder Anwendung finden.

## **2.2 Geschichte der Sofortimplantation**

In den ersten 25 Jahren der modernen Implantologie war die Versorgung mit Implantaten für weitestgehend zahnlose Patienten konzipiert.<sup>1</sup> Die meisten dieser Patienten waren bereits jahrelang zahnlos und die Verwendung der Implantate zielte darauf ab, die Kaufunktion und somit die Lebensqualität zu verbessern. Die Implantate wurden überwiegend in den ausgeheilten Alveolarkamm inseriert (Typ 4: länger als 16 Wochen post extractionem) um über die Osseointegration der Implantate eine Retention des Zahnersatzes herzustellen. Der Begriff Osseointegration beschreibt im Wesentlichen die Implantat-Knochen-Verbindung, also eine strukturelle und funktionelle Verbindung des natürlichen Knochengewebes und der Implantatoberfläche.<sup>11</sup>

1952 forschte Peer-Ingvar Brånemark an dem Thema der Blutzirkulation bei Knochenheilung. Basierend auf seinen Versuchen entwickelte Brånemark ein Verfahren der dentalen Implantation basierend auf der Erkenntnis der Osseointegration, also einer Verbindung zwischen einem Titanimplantat und dem Knochen. Bei diesem klassischen 2-stufigen Verfahren werden die Zahnextraktion und das Setzen des Implantats zu zwei verschiedenen Zeitpunkten vorgenommen. Dieses 2-stufige Verfahren brachte teils negative Auswirkungen mit sich, die sowohl Einfluss auf den funktionellen als auch auf den ästhetischen Erfolg einer Implantation haben können. Als Folge der Zahnextraktion resorbiert der Alveolarknochen. Um

dieser physiologischen Resorption entgegenzuwirken, wurde ein einphasiges Verfahren, die Sofortimplantation, entwickelt.

Als „Pionier“ und Erfinder dieses Sofortimplantats gilt Prof. Wilfried Schulte von der Universität Tübingen. Er kreierte 1978 das sogenannte Tübinger Sofortimplantat.<sup>15</sup> Es handelte sich dabei um ein Keramikimplantat aus Aluminiumoxid, das unter dem Namen Frialit-1 vermarktet wurde. Bis 1990 wurden sowohl Titan als auch Keramikimplantate verwendet – erstgenannte setzten sich schließlich durch. Über das Sofortimplantat wurde jedoch ausschließlich in deutschsprachigen, nationalen Fachzeitschriften veröffentlicht und erfuhr daher weltweit kaum Aufmerksamkeit. Nachdem sich der klinische Einsatz des Tübinger Sofortimplantats durch häufige Frakturen des Aluminiumoxidimplantats als wenig vorhersehbar herausstellte, wurde ein ähnliches wurzelförmiges Sofortimplantat unter dem Namen Frialit-2 entwickelt.<sup>16</sup>

Nach und nach wurde die Indikation für Implantate in den 1980er Jahren auch auf teilbezahnte Patienten ausgeweitet – mit vielversprechenden Ergebnissen.<sup>3,17</sup> Seitdem hat der Anteil der teilbezahnten Patienten kontinuierlich zugenommen. In der heutigen Praxis überwiegt vor allem die Indikation der Einzelzahnücke.<sup>18</sup> Auf Grund des immer genaueren Verständnisses der Alveolenheilung und der resultierenden dreidimensionalen Veränderungen des Alveolarkamms nach Extraktion, hat sich der Implantationszeitpunkt gerade bei Einzahnimplantaten grundlegend verändert und ist in den letzten 15 Jahren zu einem immer wichtigeren Thema in der Zahnheilkunde geworden.

Mit dem Aufkommen der *Guided Bone Regeneration* (GBR) in den 1990er Jahren gewann die Sofortimplantation zunehmend an Popularität.<sup>19,20</sup> Die GBR, die auch als gesteuerte bezeichnet wird, wurde zunächst in der Parodontologie entwickelt, um parodontale Knochendefekte zu regenerieren. Das Prinzip der GBR beruht auf der Schaffung eines Raums für die Regeneration durch die Stabilisierung des Blutkoagels im Defekt und der Exklusion von Weichgewebezellen durch eine Membran. Mit Hilfe der GBR konnten Knochendefekte im Implantatbett augmentiert werden. In den meisten Studien wurden anfänglich Membranen aus expandiertem Polyetrafluorethylen (e-PTFE) verwendet, die aber Ende der 1990er / Anfang der 2000er zunehmend durch resorbierbare Membranen aus z.B. nativem Kollagen ersetzt wurden, um unter anderem ein zweites chirurgisches Verfahren zur Entfernung der Membran zu verhindern. Zudem wurde viel über die Anwendung unterschiedlicher Knochenersatzmaterialien berichtet. Sowohl autologes als auch xenogenes Material fand bei der Augmentation Anwendung.<sup>21</sup>

Da es sich bei den Publikationen zu dem Thema Sofortimplantation um *case reports* oder klinische Studien mit kurzem Beobachtungszeitraum handelte, stellten Chen et al.<sup>22</sup> 2003 auf der dritten *ITI Consensus Conference* ein Review vor, welches ausschließlich klinische Studien einschloss, die mindestens zehn Patienten über einen Beobachtungszeitraum von minimal zwölf Monaten evaluiert hatten. Insgesamt wurden 31 klinische Studien miteinander

verglichen und es zeigte sich, dass Sofortimplantate und verzögerte Sofortimplantate ähnliche Überlebensraten und eine ähnlich hohe Vorhersagbarkeit hatten, wie Spätimplantate. Da aber noch keine klaren und standardisierten Definitionen zum genauen Zeitpunkt der Implantation bestanden, herrschte Unklarheit bei der Auswertung der publizierten Daten.

2004 definierten Hämmerle et al.<sup>23</sup> strategisch wichtige Implantationszeitpunkte nach Extraktion und publizierten eine Klassifikation, die bis heute Anwendung findet. Diese wird an späterer Stelle in dem Kapitel „Die Alveolenheilung“ noch einmal genauer beschrieben.

Im Zuge der vierten *ITI Consensus Conference* 2008 wurde ein zweites Review von Chen & Buser publiziert.<sup>24</sup> In 91 Studien, mit jeweils mindestens zehn Implantaten über einen Beobachtungszeitraum von mindestens zwölf Monaten, bewiesen sie die bessere Effektivität von Knochenaugmentation bei Sofort- und verzögerten Sofortimplantaten als bei Spätimplantaten.<sup>24</sup> Viele Autoren berichteten von einem 20-30 %igem Risiko von vestibulären Rezessionen über 1 mm. Patientenabhängige Faktoren wie der Weichgewebetyp, die Dicke der bukkalen Lamelle und die Implantatposition wurden hier in der Patientenauswahl noch nicht berücksichtigt, wurden aber von vielen Autoren als ausschlaggebend für das Auftreten von Rezessionen identifiziert.

Zur fünften *ITI Consensus Conference* 2015 veröffentlichten Chen & Buser<sup>25</sup> ein

Review Update mit Daten aus über 50 Studien. Die Analyse bestätigte die Theorie einer höheren ästhetischen Fluktuation, vor allem bei Rezessionen über 1 mm bei Sofortimplantaten verglichen zu verzögerten Sofortimplantaten. In digitalen Volumentomographie Aufnahmen (DVT) konnte eine eindeutige Korrelation zwischen dem Fehlen einer intakten bukkalen Lamelle und einer ausgeprägten bukkalen Rezession bewiesen werden. Empfehlungen für eine Sofortimplantation (Typ 1) wurden nur für erfahrene Chirurgen und Patienten mit idealen anatomischen Voraussetzungen ausgesprochen. Zu diesen Voraussetzungen zählen:

- intakte bukkale Lamelle über 1 mm Dicke
- dicker Weichgewebetyp
- keine akute Entzündung in der Extraktionsalveole
- ausreichende Knochendicke apikal und palatinal in der Extraktionsalveole, um Primärstabilität für das Implantat zu gewährleisten

Falls die Primärstabilität nach vier bis acht Wochen post extraktionem nicht gegeben ist, sollte gewartet werden, bis die Alveole knöchern durchbaut ist (Typ 3).

Heutzutage haben Kliniker für eine Implantation vier Optionen zur Terminierung zur Auswahl (Siehe Abschnitt 1.4). Um ein Risikoprofil für die Patienten zu erstellen, sollten vorab klinische und radiologische Analysen erstellt werden, um ein funktionell und ästhetisch optimales und vorhersehbares Ergebnis zu erzielen.

## 2.3 Erfolgsfaktoren bei der Sofortimplantation

Die Prognose von Implantaten wird von vielen Faktoren beeinflusst.

Einige beziehen sich auf die allgemeine Anamnese, andere sind eher lokale anatomische Faktoren.

Bei den allgemeinen systemischen Faktoren sind es vor allem Erkrankungen und medikamentöse Therapien, die einen Einfluss auf die Heilung von Knochen und die ihn bedeckenden Weichgewebe haben können. Patienten sollten daher vor einer Implantation gut aufgeklärt werden und Behandlungsalternativen sollten mit ihnen erörtert werden. Viele Risikofaktoren sind jedoch beeinflussbar, so zum Beispiel die korrekte Blutzucker-Einstellung bei Diabetikern, die häusliche Mundhygiene sowie das Rauchverhalten. Ein regelmäßiges Recall überprüft die Faktoren und motiviert Patienten, auch zwischen den Behandlungen die Wahrscheinlichkeit auf Erfolg der Implantate zu steigern. So kann für jeden Patienten ein individuelles Risikoprofil erstellt werden. Dieses stellt sich aus diversen Erkrankungen einerseits und der Compliance des Patienten – also der Umsetzung von Instruktionen – andererseits zusammen. Anhand dieses Profils sollte ein risikoadaptiertes Recall durchgeführt werden.

Um an der vorliegenden Studie teilnehmen zu dürfen, mussten die Probanden spezifische Kriterien erfüllen, die das Risikoprofil so gering wie möglich hielten. Insgesamt wurden sechs Kriterien festgelegt, um Probanden in die Studie zu inkludieren. Die Notwendigkeit des Eingriffes wurde als selbstverständlich angesehen. Das *Alter*, die *ASA Klassifikation*, die *Abwesenheit einer aktiven Parodontitis*, *Abwesenheit von Tabakkonsum*, die *Beschaffenheit der bukkalen Lamelle* und *Zustand der Nachbarzähne* wurden berücksichtigt.

Patienten sollten grundsätzlich erst nach Abschluss des Kieferwachstums implantiert werden – dies variiert stark, je nach Lehrmeinung vom 18. bis zum 27. Lebensjahr. In der Vergangenheit war die Handröntgenaufnahme gebräuchlich, um den skelettalen Reifezustand eines Kindes zu bestimmen, mit Hilfe dessen man auch den weiteren Verlauf von Wachstum und biologischer Entwicklung voraussagen konnte.<sup>26</sup> Mittlerweile gilt diese Analyse jedoch als überholt, da die Erkenntnis nicht bei jedem Patienten spezifisch genug ausfiel. Mittlerweile hat die Überlagerung von Fernröntgenseitenaufnahmen, die im Abstand von sechs Monaten bis ein Jahr aufgenommen werden, diese als Methode zur Beurteilung der Vollendung des Gesichtswachstums abgelöst. Anhand dieser Überlagerung wird der Abstand zwischen Nasion und Menton, also der vertikalen Gesichtshöhe, gemessen. Falls sich dieser Wert kaum noch ändert, ist dies ein Indikator für ein beinahe abgeschlossenes Gesichtswachstum.<sup>27</sup> Generell gilt, dass bei weiblichen Patienten Implantate ab dem 17. Lebensjahr und bei männlichen Patienten ab dem 21.-22. Lebensjahr gesetzt werden dürfen. Konventionelle

Implantatversorgungen vor Abschluss des Kieferwachstums bergen Risiken, da die betroffenen implantierten Areale den komplexen dreidimensionalen Kiefer- und Alveolarfortsatzentwicklungen nicht folgen. Dies hat nicht nur funktionelle, sondern auch erhebliche ästhetische Nachteile zur Folge.<sup>28</sup>

Westwood und Duncan<sup>28</sup> konnten über einen Beobachtungszeitraum von mehreren Jahren eine Infraokklusion durch das ankylotische Einwachsen von Implantatkronen beobachten. Da das individuelle Wachstumsende nur schwer abzuschätzen ist und in der Literatur Uneinigkeit herrscht, wann das skelettale Wachstum definitiv abgeschlossen ist, wurden in dieser Studie nur Patienten ab dem 21. Lebensjahr inkludiert.

Um das allgemeine Operationsrisiko bezüglich der Allgemeinen Anamnese beurteilen zu können, etablierte eine Gruppe von US-amerikanischen Anästhesisten 1941 die sogenannte ASA-Klassifikation (ASA PS: *American Society of Anaesthesiologists Physical Status*). Dieses in der Medizin weit verbreitete *Scoring System* bewertet den körperlichen Zustand der Patienten hinsichtlich ihrer bevorstehenden Operation.

Die ASA-Klassifikationen werden wie folgt eingeteilt:

ASA 1: normaler, gesunder Patient

ASA 2: Patient mit leichter Allgemeinerkrankung

ASA 3: Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung

ASA 4: Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung ist

ASA 5: Moribunder Patient, der ohne Operation voraussichtlich nicht überleben wird

ASA 6: hirntoter Patient, dessen Organe zur Organspende entnommen werden

Ein normaler, gesunder Patient ist Nichtraucher, leidet nicht unter Alkoholabusus und hat keine systemischen Erkrankungen. Eine Einordnung gemäß ASA-Klassen gehört zum standardisierten Vorgehen in der Human- und Zahnmedizin vor einem chirurgischen Eingriff mit Anästhesie. Grundsätzlich können Patienten der Gruppen 1 und 2 ohne Einschränkungen ambulant behandelt werden. Patienten der Gruppe 3 erfordern intensive, allgemeinmedizinische Betreuung, um dem Patienten durch die Implantatinserterion oder die dadurch resultierenden Folgeerkrankungen nicht zu schaden. Patienten der Gruppe 4 und 5 sind für Implantationen ungeeignet. Für diese Studie wurden nur Patienten der ASA-Gruppe 1 ausgewählt, um Komplikationen und Misserfolge durch Vorerkrankungen und die dadurch verfälschten Ergebnisse auszuschließen. Ein generelles Risiko für Implantatbehandlungen und damit eine Kontraindikation für Patienten mit Allgemeinerkrankungen gibt es nicht. Durchaus aber sind spezifische Risikofaktoren spezielle Erkrankungen und Nikotinabusus, die

an dieser Stelle kurz erwähnt werden, da sie Exklusionskriterien in der vorliegenden Studie darstellen.

### **2.3.1. Aktive Parodontitis/ parodontale Vorschädigung**

Eine Parodontitis – so der allgemeine Konsens<sup>29,30</sup> – muss vor geplanter Implantation behandelt werden. Denn wie in vielen Studien belegt wird, haben sowohl Patienten mit parodontaler Vorschädigung als auch mit schlechter Mundhygiene ein erhöhtes Risiko eine Periimplantitis zu entwickeln.<sup>14,31,32</sup> Sowohl die Keimspektren als auch die Pathogenese von Parodontitis und Periimplantitis sind vergleichbar:<sup>33</sup> Mikroorganismen bilden einen Biofilm auf rauen Oberflächen (Zähne / Implantate); wird dieser nicht entfernt, so kommt es auf den umgebenden Geweben (Gingiva / Mukosa) zuerst zu lokal inflammatorischen Prozessen. Diese entwickeln nach und nach eine chronische Entzündung des Weichgewebes (Gingivitis/ Mukositis) und schließlich kann diese chronische Entzündung in eine Parodontitis/ Periimplantitis übergehen.

Cho-Yan Lee et al. zeigten in ihrer klinischen Studie 2012, dass Patienten mit parodontaler Vorschädigung mit nur einer lokalisiert vertieften Tasche am natürlichen Zahn von über 5 mm ein signifikant höheres Risiko aufweisen, an Periimplantitis zu erkranken, als Patienten, mit kleineren Taschentiefen. Diese Ergebnisse verdeutlichen, wie viele Patienten durch parodontale Vorschädigung ein erhöhtes Periimplantitis-Risiko tragen, denn es leiden mehr als 50 % aller erwachsenen Patienten an Parodontitis, 11 % davon an einer schwereren Form.<sup>29</sup> Deshalb ist eine genaue Aufklärung über die Zusammenhänge von Biofilm und Periimplantitis vor Implantation, gerade auch bei Risikopatienten wie Diabetikern und Rauchern, immens wichtig für die Prognose und den Langzeiterfolg des Implantats und der Gewebestabilität. Sowohl die häusliche Hygiene-Instruktion als auch regelmäßig durchgeführte Prophylaxesitzungen im Rahmen eines systematischen Prophylaxekonzeptes bei geschultem Personal (z.B. Dentalhygienikern o.ä.) muss erfolgen.

### **2.3.2. Nikotinabusus**

Raucher (definiert als Patienten mit einem Konsum von > 5 Zigaretten pro Tag) haben nachweislich ein erhöhtes Risiko unter anderem für: Wundheilungsstörungen, eine verzögerte Knochenheilung, eine verringerte Knochenhöhe, eine höhere Knochenresorption und eine erhöhte Inzidenz von Periimplantitis.<sup>34</sup> Die Hitze und die toxischen Nebenprodukte, wie zum Beispiel Nikotin, Kohlenmonoxid, Cyanwasserstoff etc. werden unter anderem mit



Wundheilungsstörungen und verzögerter Wundheilung in Verbindung gebracht und sind damit beeinträchtigend für den Erfolg und die Überlebensdauer des Implantates.<sup>35</sup>

In einer 2020 publizierten klinischen Vergleichsstudie über den Knochenverlust an Implantaten von 500 Rauchern und Nichtrauchern zeigen Jazib Nazeer et al.<sup>36</sup>, dass der krestale Knochenverlust um ein Implantat signifikant höher bei Rauchern ist als bei Nichtrauchern. Bei Frontzahnimplantaten zeigte sich sechs Monate post-operativ ein durchschnittlicher Knochenverlust von 2,4 mm +/- 0,2 mm bei Rauchern, bei Nichtrauchern hingegen nur 1,2 mm +/- 0,36 mm. Nach einem Jahr beträgt der Verlust bei Rauchern 3,0 mm +/- 0,32 mm, bei Nichtrauchern 1,5mm +/-0,40. Also zeigen Raucher einen verdoppelten Knochenverlust im Vergleich zu Nichtrauchern. Auf Grund der signifikant erhöhten Komplikationsrate von Rauchern bei Implantationen sollte in Abhängigkeit vom Ausmaß des Nikotinabusus und dem Umfang der chirurgischen Maßnahmen, von einem implantologischen Vorgehen abgeraten werden.<sup>37</sup>

### **2.3.3. Apikale Läsionen an benachbarten Zähnen**

Das Vorhandensein von chronischen apikalen Prozessen am zu extrahierenden Zahn stellt für eine Sofortimplantation keine signifikanten Probleme dar. Dieser Zusammenhang wurde in zahlreichen klinischen Studien untersucht. Novaes et al.<sup>38</sup> bewiesen in einer histomorphometrischen Studie an Hunden *im Split-Mouth-Design*, dass keine signifikanten Unterschiede beim Einheilen der Implantate festgestellt werden konnten. Auch in den Jahren 2011 und 2012 kamen zwei prospektive Kohortenstudien mit jeweils ca. 30 Patienten, welche über einen Zeitraum von zwei bis drei Jahren beobachtet wurden, ebenfalls zu dem Ergebnis, dass chronische apikale Prozesse keine radiologischen oder klinischen Unterschiede hervorrufen. Die Überlebensrate aller Implantate betrug 100 %.<sup>39,40</sup>

Allerdings zeigten Bell et al.<sup>41</sup> in ihrer Studie, dass aber das Vorhandensein von apikalen Läsionen an einem Nachbarzahn ein Risiko für das Sofortimplantat birgt. Ihre Ergebnisse wiesen darauf hin, dass eine endodontische Infektion eines Nachbarzahns zu periimplantärem Knochenverlust in der koronalen Hälfte des Implantates führen kann. Auch Renvert et. al<sup>42</sup> zeigten in einer retrospektiven Studie, dass apikale Parodontopathien an Nachbarzähnen eine wesentliche Rolle in der Prognose eines Implantates spielen. Sowohl der Abstand zwischen einem endodontisch behandelten Zahn und dem Implantat sowie auch der zeitliche Abstand einer endodontischen Therapie und der Implantation sind von entscheidender Bedeutung.

### **2.3.4. Beschädigte bukkale Lamelle**

Wie im folgenden Kapitel „Die Alveolenheilung“ genau beschrieben wird, hat die bukkale Lamelle beim Thema Resorptionsvorgänge und Entstehung von Rezessionen eine zentrale Rolle. Die bukkale Lamelle besteht hauptsächlich aus Bündelknochen und gehört histologisch zum Zahnhalteapparat – und nicht wie die topographische Lage vermuten lässt, zum Alveolarknochen.<sup>43</sup> Die Dicke der Lamelle lässt Rückschlüsse ziehen, wie diese zusammengesetzt ist. Bei dicken Lamellen, größer 1 mm, ist auch ein gewisser kortikaler Anteil neben Bündelknochen zu finden. Diese resorbieren weniger stark als dünne bukkale Lamellen, also Lamellen mit sehr geringem kortikalem Anteil.<sup>43</sup> Auf Grund des erhöhten Risikos für Rezessionen und postoperative Komplikationen des Heilungsprozesses, wurden Patienten mit frakturierter Lamelle aus der Studie exkludiert und die Dicke der bukkalen Lamelle wurde intraoperativ vermessen und notiert.

Das Vorhandensein einer unbeschädigten bukkalen Lamelle wird in verschiedenen wissenschaftlichen Empfehlungen und Übersichtsarbeiten als wichtiger Prognosefaktor erwähnt<sup>44-46</sup>.

### **1.3.5 Parodontaler Gewebephänotyp**

Einen großen Einfluss auf den Volumenerhalt, also das ästhetische Ergebnis und die Rezessionsbildung, hat der individuelle Gewebephänotyp, auch Bio- oder Morphotyp genannt, der letztlich die Gewebedicke der Mukosa beschreibt.<sup>47</sup>

Eine standardisierte und einheitliche Nomenklatur scheint noch zu fehlen, da sich in der Literatur noch eine sehr heterogene Verwendung aller Synonyme zeigt.

Dieser kann in der Praxis zuverlässig mit Hilfe der PAR-Sonde bestimmt werden.<sup>48</sup> Scheint die Skalierung durch die Gingiva durch, so spricht man von einem „dünnen Biotyp“, tut sie dieses nicht, von einem „dicken Biotyp“. Eine rein visuelle Bestimmung ohne den Gebrauch einer PAR-Sonde ist laut Kan<sup>49</sup> keine gesicherte Methode.

Patienten mit unter anderem dickem Biotyp zeigen in vielen Studien und Übersichtsarbeiten die besseren Ergebnisse im Hinblick auf vestibuläres Volumen und Weichgewebsrezession.<sup>45,50</sup>

Kan et al.<sup>51</sup> beobachteten über einen Zeitraum von 2- bis 8 Jahren, dass Sofortimplantate bei Patienten mit dickem Biotyp signifikant weniger Rezessionen aufwiesen als Patienten mit dünnem Biotyp.

Kan et. al.<sup>52</sup> konnte in klinischen Studien ebenfalls belegen, dass bei dicken Gewebetypen die Dimension der periimplantären Gewebe ,so zum Beispiel die Gewebedicke im approximalen Papillenbereich größer ist und damit einen positiven Einfluss auf das ästhetische Ergebnis hat.

Jedoch weisen laut Müller et al.<sup>47</sup> nur ca. 25% aller Patienten einen dicken Biotyp auf.

Also lässt sich Zusammenfassend sagen, dass ein dicker Biotyp mit intakter bukkaler Lamelle größer als 1 mm, einem Implantat mit geringerem Durchmesser welches in den palatinalen Bereich der Alveole gesetzt wird und der Spalt mit Weichgewebe augmentiert wird, zu den besten klinischen Ergebnissen führt.

Zudem führen Sofortimplantate ebenfalls zu besseren klinischen Ergebnissen, zeigen aber eine geringfügig höhere Komplikations- und Verlustrate als Spätimplantate.<sup>46</sup>

## 2.4 Alveolenheilung und Volumenverlust

Nach Zahnverlust unterliegt der Alveolarfortsatz Umbauprozessen, die mit einem Hart- und Weichgewebeverlust einhergehen. Der dentoalveoläre Knochen baut sich nach Zahntfernung um, was in der Regel zu relevanten dreidimensionalen Volumenverlusten führt.<sup>43</sup> Schropp et al. berichten beispielsweise von horizontalen Volumenverlusten von bis zu 50 % nach sechs Monaten. Um die Umbaubauprozesse in der Alveole zu verstehen, ist es wichtig, die biologischen Prinzipien der Alveolenheilung zu verstehen. Cardaropoli et al.<sup>53</sup> haben die dynamischen Veränderungen der Alveole nach Zahnextraktion an Tiermodellen detailliert untersucht. Ist das parodontale Ligament noch vorhanden, bildet sich nach Extraktion ein Blutkoagel in der Alveole. Dieses Ligament verwandelt sich übergangsweise in eine Matrix durch die Einwanderung von Fibroblasten, innerhalb von Wochen ist eine erste Struktur von Geflechtknochen zu erkennen. Nach ca. 180 Tagen beträgt der hartgewebige Anteil der Alveole nur noch etwa 15 %, da sich ein Großteil des Geflechtknochens in Fettgewebe und Markraum umgebildet hat. Die Alveole verschließt sich kortikal durch das sogenannte *coronal bridging*. Zwar ist diese Studie nicht an Menschen durchgeführt worden und somit nur eingeschränkt übertragbar auf die humane Alveolenheilung, gibt aber dennoch Hinweise auf die potenzielle Veränderung der Zusammensetzung der Alveole. Des Weiteren wiesen Araújo et al.<sup>43</sup> die maßgebliche Rolle von Bündelknochen in Resorptionsvorgängen nach. Dieser ist zwar strukturell Anteil des Alveolarknochens, in den die Kollagenfibrillen der Sharpeschen Fasern einstrahlen, ist entgegen dem restlichen Kieferknochen aber nicht periostaler Herkunft, sondern entstammt histologisch dem Zahnsäckchen – wie auch der Wurzelzement und das parodontale Ligament. Da nach einer Extraktion die eigentliche Funktion des Bündelknochens, also die Verankerung des Zahnes im Knochen, verloren geht, kommt es immer zu einer Resorption in diesem Bereich.

Studie von Nevins et al.<sup>54</sup> haben Resorption der bukkalen Lamelle beim Menschen röntgenologisch nachgewiesen.

Prognostisch spielt die Dicke der bukkalen Lamelle eine wichtige Rolle. Ist diese größer als 1 mm wird sie als „dick“ eingestuft, ist sie dünner als 1 mm, gilt sie als „dünn“. Dick bedeutet, dass die Lamelle neben Bündelknochen auch einen gewissen kortikalen Anteil besitzt, wohingegen eine dünne Lamelle beinahe nur aus Bündelknochen besteht. Somit ist ein gewisser Erhalt der Lamelle nach sofortiger Implantation bei dicken Typen relativ sicher.

Braut et al.<sup>55</sup> zeigten in Ihrer 2011 durchgeführten radiologischen Untersuchung an ca. 500 Zähnen, dass in über 90 % der Fälle die bukkale Lamelle im Frontzahnbereich als dünn eingestuft wird und somit ein Volumenverlust nach Zahnentfernung meist zwangsläufig entsteht. Vor allem der labiale Volumenverlust und die Weichgeweberecession führen zu einer Minderung des ästhetischen Ergebnisses.<sup>46,56</sup>

Nach Hämmerle et al.<sup>57</sup> wird der Zeitpunkt für die Implantation nach Extraktion wie folgt eingeteilt:

**Typ 1:** unmittelbar nach der Extraktion

**Typ 2:** die Extraktionsalveole ist weichgewebig ausgeheilt, also mit Mukosa bedeckt (ca. 4-8 Wochen nach der Extraktion)

**Typ 3:** deutliche radiologische oder klinische Knochenregeneration (ca. 12-16 Wochen nach der Extraktion)

**Typ 4:** ausgeheilte Alveole (länger als ca. 16 Wochen nach der Extraktion)

Die Implantation kann strategisch an verschiedenen Stadien der Alveolenheilung stattfinden. Ist die Alveole intakt, kann nach entsprechender Risikoanalyse sofort implantiert werden. Zu diesem Zeitpunkt hat noch keine Resorption stattgefunden. Wenn die Alveole beschädigt ist und man augmentieren muss, ist es sinnvoll zu warten, bis diese mit Mukosa bedeckt ist, da für eine erfolgreiche Knochenregeneration eine suffiziente Weichgewebsdeckung erreicht werden muss. Bietet die Anatomie oder Geometrie der Alveole keine ausreichende Verankerung für das Implantat, so ist immer eine knöchernerne Ausheilung der Alveole sinnvoll. Bei diesem Typ (Typ 3) muss fast immer augmentiert werden, da mit fortgeschrittener Resorption zu rechnen ist.

Verschiedene Techniken zum Volumenerhalt nach Extraktion wurden in der Literatur beschrieben. Die Augmentation der Alveole zum Zeitpunkt der Extraktion zählt z.B. dazu und wird in der Literatur „Ridge Preservation“ oder „Socket Preservation“ genannt. Sie ist als Alternative zur Sofortimplantation zu sehen.

Volumenveränderungen nach Extraktion oder augmentativen Maßnahmen können klinisch über digitalisierte Oberflächen STL-Files ausgewertet werden. Diese Technik wurde bereits in anderen Studien verwendet.<sup>58</sup>

### 2.4.1. Implantationszeitpunkte

Das sofortige Einbringen von Implantaten in frische Extraktionsalveolen (Typ 1) ist eine interessante Therapieform die eine hohe Akzeptanz hat,<sup>24</sup> da sich die Therapiedauer verkürzt und ein geringeres Operationstrauma entsteht. Beim traditionellen Vorgehen wird erst nach vollständiger knöcherner Ausheilung implantiert, also mindestens sechs Monate nach der Extraktion (Spätimplantation, Typ 4). Bei Sofort-Implantationen ist dagegen die Behandlungszeit verkürzt und die Anzahl der chirurgischen Eingriffe reduziert. Zudem kann bei richtiger Technik der zuvor beschriebene Verlust an Knochenvolumen verhindert werden. Wie sich in den letzten Jahren gezeigt hat, ist dies aber nicht durch die Implantation selbst bedingt. Das heißt, der Knochen wird nicht durch das sofort eingesetzte Implantat erhalten,<sup>59</sup> sondern durch augmentative Maßnahmen im Zusammenhang mit der Implantation. Als Erfolgsvoraussetzung für Sofort-Implantationen wird unter anderem ausreichend gesundes, möglichst dickes Weichgewebe angesehen.<sup>60</sup> Weiterhin muss das Implantat sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Position korrekt inseriert werden. In der horizontalen Position sollte grundsätzlich der Abstand eines Implantats zum Nachbarzahn mindestens 1,5 mm betragen, denn durch das postrestorative Knochenremodelling und dessen resorptive Vorgänge, kann das Attachment der Nachbarzähne negativ beeinflusst werden und kann somit zu proximalem Gewebeverlust führen. Die bucco-linguale Position des Implantates in der Alveole ist ein wichtiger Erfolgsfaktor.<sup>61</sup>

Steht das Implantat im bukkalen Bereich der Alveole resultiert oft eine Weichgewebsrezession. Bei der vertikalen Positionierung muss zwischen biologischer und prothetischer Sicht unterschieden werden. Die biologische Breite an Implantaten besteht aus ca. 2 mm Saumepithel und 1-1,5 mm Bindegewebe.<sup>62</sup> Ergo beträgt sie in Summe zwischen 3 und 3,5 mm. Aus biologischer Sicht bestimmt diese Breite somit die vertikale Position. Aber aus prothetischer Sicht ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass zwischen Implantatschulter und Suprakonstruktion eine gewisse Distanz benötigt wird, damit das Abutment den Übergang zwischen einem kreisrunden Durchmesser des Implantats zu einem breiteren anatomischen Emergenzprofil schafft. Ist das Implantat nicht tief genug inseriert, kann somit das periimplantäre Weichgewebe nur unmöglich oder nur schwierig ausgeformt werden. Ist das Implantat zu tief gesetzt, resultiert dies meist in einer vertikalen Verlagerung der Mukosa und somit zu einer Rezession. Selbst wenn alle Voraussetzungen gegeben sind, besteht gegenüber der späteren Implantation jedoch ein erhöhtes Risiko, dass sich der Mukosasaum zurückzieht und ein ästhetischer Misserfolg eintritt.<sup>63</sup> Die meisten Experten sind sich daher einig, dass Sofortimplantationen nur von erfahrenen Zahnärzten, nach sehr sorgfältiger Analyse der Ausgangssituation und in Situationen mit begrenztem ästhetischem Risiko

durchgeführt werden sollten.<sup>64</sup> Nach entzündlich oder traumatisch bedingten Zahnverlusten ist zudem in den meisten Fällen bereits Knochen verloren gegangen. Auch um natürliche Zähne sind intakte bukkale Knochenlamellen nur bei etwa jedem zehnten Patienten mehr als 1 mm dick.<sup>65</sup> Bei Implantaten ist dies nach der Meinung von Experten nicht ausreichend. Diese empfehlen für dauerhaft stabile periimplantäre Gewebe im ästhetisch relevanten Bereich daher eine bukkale Knochendicke von mindestens 2 mm.<sup>65,66</sup> Folglich ist in der Regel eine Augmentation erforderlich, die zeitgleich mit der Sofort-Implantation stattfindet. Diese ist jedoch durch das meist geschädigte oder nicht ausreichend vorhandene Weichgewebe erschwert. Das gilt nicht oder in geringerem Ausmaß, wenn eine Zwischenform zwischen Sofort- und späterer Implantation gewählt wird. Diese sogenannte frühe Implantation kann entweder nach ein bis zwei Monaten (Typ 2) oder nach drei bis vier Monaten (Typ 3) erfolgen.<sup>24</sup> Beim Typ 2 ist das Weichgewebe zum Zeitpunkt der Implantation weitgehend abgeheilt, bei Typ 3 ist die Alveole knöchern ausgeheilt. Zugleich mit der Implantation wird in der Regel eine gesteuerte Geweberegeneration durchgeführt, wobei die verheilten Weichgewebe im Vergleich zur Sofortimplantation den Wundverschluss erheblich erleichtern.<sup>66</sup> Für Typ-2-Implantationen gibt es sehr gute Ergebnisse bereits nach drei Jahren. In einer prospektiven Studie waren Hart- und Weichgewebe weitgehend stabil, ästhetische Probleme wurden nicht beobachtet.<sup>67</sup> Die Ergebnisse für diesen Implantationszeitpunkt sind – nach einer systematischer Literaturlauswertung<sup>68</sup> – günstiger als für späte Implantationen (Typ 4). Obwohl noch langfristige Daten von fünf oder mehr Jahren fehlen, kann die Methode daher nach derzeitigem Wissensstand empfohlen werden.

## **2.5 Strategien zum Volumenerhalt bei Sofortimplantation**

Verschiedene präklinische<sup>69,70</sup> und klinische Studien<sup>71,72</sup> konnten zeigen, dass die Augmentation des Spaltes zwischen Implantat und bukkaler Lamelle zu einem Erhalt des bukkalen Knochens beitragen kann. Daher ist die Verwendung eines anorganischen bovinen Knochenersatzmaterials heute ein Standardverfahren im Zusammenhang mit Sofortimplantaten.

Um zusätzlich die Problematik der Kontur-/Volumenverluste und der Rezession zu kompensieren, empfehlen verschiedene Autoren die Verwendung von Bindegewebstransplantaten im Zusammenhang mit der Sofortimplantation, um das faciale Weichgewebe während der Implantation zu verdicken.<sup>73-75</sup> Das klassische Verfahren – und immer noch Goldstandard – zur Weichgewebsaugmentation bei lokalen Alveolarkammdefekten und zur Konturierung des periimplantären Weichgewebes ist das subepitheliale Bindegewebstransplantat aus dem Gaumen. Dieses wurde vielfach von der Forschung in klinischen Studien getestet und beschrieben.<sup>76</sup>

Eine im Jahr 2011 publizierte Pilotstudie von Grunder<sup>77</sup> bekräftigte diese Strategie. Ein Kollektiv von 24 Probanden teilte er in zwei Gruppen ein, von der jeweils eine Gruppe gleichzeitig mit Implantation um Hartgewebsaugmentation ein Bindegewebstransplantat erhielt, die andere Hälfte nicht. Die Gruppe mit Transplantat zeigte nach einem halben Jahr einen horizontalen Gewebezugewinn von 0,34mm, während die Gruppe ohne Transplantat einen horizontalen Verlust von 1,063mm verzeichnete.

Ebenfalls ähnliche Beobachtungen konnte Tsuada<sup>78</sup> aus der Forschungsgruppe um Kan im gleichen Jahr machen. Die Autoren berichteten, dass die Kombination: Augmentation des Spaltes zwischen Implantat und bukkaler Lamelle, Bindegewebstransplantat und korrekter dreidimensionaler Position des Implantates sehr gute Ergebnisse lieferte. Nach einem Beobachtungszeitraum von zwölf Monaten zeigte sich sowohl ein Volumenerhalt als auch eine Vermeidung von Rezessionen.

Bei der Verwendung von autologem Weichgewebe ist aber nicht nur mit patientenabhängigen Unterschieden in Bezug auf Gewebequantität und Qualität zu rechnen, sondern auch mit einer gewissen postoperativen Entnahmemorbidität. Um diese individuellen Einschränkungen zu umgehen, wurde eine dreidimensionale, stabile Kollagenmatrix entwickelt und in zahlreichen präklinischen und klinischen Studien evaluiert.<sup>79</sup> Diese xenogenen Ersatzmaterialien porziner Herkunft rücken immer mehr in den Fokus, da sie verschiedene Vorteile bieten: Sie reduzieren vor allem die postoperativen Schmerzen und Komplikationen, die von einem zweiten OP-Gebiet, der Entnahmestelle, ausgehen. Sie stehen unbegrenzt in homogener Qualität zur Verfügung und sie enthalten keine Anteile von Fett oder Speicheldrüsen, wie das bei autologen Transplantaten oft der Fall ist.<sup>80 81,82</sup>

Das Transplantat, ob autolog oder xenogen, hat grundsätzlich drei Aufgaben: Es verdickt das vestibuläre Weichgewebe und kompensiert Volumenverluste, zudem versiegelt es das Orifizium der Alveole und deckt somit das Augmentat ab. Auch stützt es in Kombination mit dem Gingivaformer das marginale Weichgewebe und die Papillen ab und verhindert somit den Kollaps des parodontalen Weichgewebes.

Im Zusammenhang mit den Volumenveränderungen nach Sofortimplantation werden immer wieder Weichgewebsrezessionen als Folge des Volumenverlustes beschrieben. Aus den Studienergebnissen von Roos-Jansaker et al.<sup>32</sup> ist zu entnehmen, dass mit einer Geweberezeption von mindestens 0,5 mm gerechnet werden kann und diese zu ästhetischen Einbußen führen kann. Araújo wiederholte seine Hundestudie im Hinblick auf die Implantatposition und den Durchmesser und deren Einfluss auf den Resorptionsprozess der bukkalen Lamelle. Er setzte kleinere Implantate weiter palatinal in die Alveole und

augmentierte den Spalt mit xenogenem Ersatzmaterial. Dieses Vorgehen führte zu einer Reduktion der bukkalen Resorption und Rezession.

Auch Chen et al.<sup>83</sup> untersuchten bei 42 Sofortimplantaten den Einfluss der Implantatposition auf das Ausmaß der bukkalen Rezession. Hier zeigte sich deutlich, je weiter bukkal das Implantat inseriert wird, desto signifikanter war die Rezession ausgeprägt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass das Implantat leicht palatinal gesetzt werden muss und eine Angulation nach bukkal vermieden werden muss. Auch ein kleinerer Implantatdurchmesser wirkt sich positiv auf die Rezessionsvermeidung bei Sofortimplantation aus.

### **2.5.1. Entnahme von Bindegewebstransplantaten**

Der Vollständigkeit halber wird die Technik zur Entnahme des Bindegewebstransplantats (BGT) an dieser Stelle kurz erläutert. Das subepitheliale Bindegewebstransplantat vom Gaumen in der Region der Prämolaren ist in der Regel die Standardprozedur bei der Verdickung von Weichgewebe. Knapp unterhalb der Entnahmestelle und oberhalb der Arteria palatina wird lokal anästhesiert, am besten mit einer Anästhesielösung mit einem Vasokonstriktor von 1:100.000. Somit wird eine doppelte Blutstillung hervorgerufen, sowohl durch die Vasokonstriktion als auch durch die leichte Druckerhöhung im Gewebe. Die Größe und Form des Transplantates kann am besten durch eine Schablone aus z.B. sterilem Papier, auf die Entnahmestelle übertragen werden. Dann folgt die erste Inzision ca. 4 mm paragingival und 1,5 bis 2 mm tief mit einem leicht kurvenförmigen Schnitt. Um Zugang zum Bindegewebe zu bekommen, wird als nächstes das Skalpell um 90 Grad geschwenkt und es wird ein 1,5 bis 2 mm dicker Mukosadeckel präpariert. Um das Transplantat zu präparieren, folgt eine zweite senkrechte ca. 1 mm nach medial versetzte Inzision im Bereich der Zugangsinzision, dann mesial, distal und medial umschnitten. Die Entnahme des Bindegewebstransplantates mit Periost erfolgt mittels Raspatorium. Zum Nahtverschluss der Entnahmestelle können gekreuzte Matratzennähte (5-0) zum Einsatz kommen und zur genaueren Adaptation der Wundränder mikrochirurgische Einzelknopfnähte (6-0).

### **2.5.2. Dermale Matrizes**

Das Ersatzmaterial ist eine aus porciner Dermis gewonnene, dreidimensionale Matrix mit hoher Volumenstabilität und mechanischer Reißfestigkeit. Bestehend aus einem natürlichen Gerüst von Kollagen Typ I und III, ähnelt es dem humanen Bindegewebe stark. Da das Material



zudem eine hohe interkonnektierende Porösität aufweist, wird eine schnelle Revaskularisation und Gewebeintegration gewährleistet, da es als Leitschiene für die einwachsenden Blutgefäße dient.<sup>79</sup> Durch aktivierte, migrierende und proliferierende Endothelzellen werden mittels Signalmoleküle Blutgefäße aus dem umgebenden Gewebe angelockt, die in das Ersatzmaterial einwachsen. Zur gleichen Zeit findet eine Fibroblasten Adhäsion an der Matrix statt. Über einen Zeitraum von ca. 6-9 Monaten degeneriert die Matrix und wird durch patienteneigenes Gewebe ersetzt.<sup>84</sup> Vier unterschiedliche Ersatzmaterialien, native Dermis, entfettete Dermis, Ethylendioxid quervernetzte Dermis und Dehydrothermisch quervernetzte Dermis wurden in einer In vivo-Studie getestet. Die Gewebeintegration wurde am Tiermodell durch Prof. Dr. Dr. Daniel Rothamel untersucht. Hier wurden in den Rücken von Wistarratten 1x1 cm große Proben, unter anderem des Ersatzmaterials *Mucoderm*, eingesetzt. Diese wurden an nicht resorbierbaren Abstandhaltern fixiert und mit nicht resorbierbaren Nähten ins subkutane Gewebe eingenäht. Nach 1, 2, 4, 8 und 12 Wochen wurden diese Proben entnommen und auf folgende Parameter histologisch untersucht: die Membrandicke als Zeichen des biologischen Abbaus und der Volumenstabilität, das Einwachsen von Zellen, die Vaskularisation, Gewebeintegration und Fremdkörperreaktion.

Die Ergebnisse zeigten, dass native Dermis wie *Mucoderm*, aus einem klinischen Standpunkt, die beste Option für die künstliche Weichgewebsaugmentationen darstellt.

## **2.6 Digitale Auswertung von Volumenveränderungen des Kieferkamms**

Digitale Techniken erlauben heute die noninvasive, präzise Auswertung von Volumenveränderung des Kieferkamms. Die STL-Daten von Oberflächenscans, die entweder mit einem Intraoralscanner oder mittels Modellscannern von Modellen nach Präzisionsabformung erstellt werden, werden mit Hilfe einer Software übereinandergelegt (engl. „matchen“) und mit einem speziellen Algorithmus ausgewertet.

In verschiedenen Publikationen wurde die Technik zur Evaluation von Dimensionsveränderung des Kiefers nach Extraktion und Augmentation nachuntersucht.

2009 führten Fickl et al.<sup>58</sup> eine Hundestudie durch, in welcher jeweils vier unterschiedliche OP-Techniken an einem Hundekiefer durchgeführt wurden: Fünf Beagle Hunde wurden operiert, danach wurden Abdrücke erstellt, diese wurden digitalisiert, übereinandergelegt und ausgewertet. Schneider et al.<sup>85</sup> untersuchten Volumenveränderungen nach Frontzahnimplantation mit *GBR* im Jahre 2011 an einer Kohorte von 16 Patienten. Auch hier wurden die Gipsabdrücke mit Modellscannern erfasst, digitalisiert und ausgewertet.

Auch Schmitt et al.<sup>86</sup> wendeten 2016 die gleiche Methode bei einer neuen Hundestudie an.

## **2.7 Zielsetzung der Studie**

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Verwendung einer azellulären dermalen Matrix (ADM) gegen den Goldstandard (das autologe Bindegewebestransplantat) je in Verbindung mit der Sofortimplantation zu testen. Dazu wurden die Bewertungskriterien Volumenstabilität, klinische Heilung und subjektiv empfundener Schmerz über einen Beobachtungszeitraum von zwölf Monaten untersucht.

### **3. Publikation**

#### **Acceptance letter**

Manuscript: PRD-2021-8/R2 RESUBMISSION - (5632) - Immediate Implant Placement in Conjunction with Xenogeneic Acellular Dermal Matrix or Connective Tissue Graft. A Randomized Controlled Clinical Volumetric Study.

Date submitted: 2021-04-11

Dear Dr Happe,

It is a pleasure to inform you that the above manuscript is acceptable for publication.

Thank you for taking the time and making the effort necessary to accomplish such a fine result. I hope that you will continue to consider The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry for publication of your studies in the future.

In order to publish your article, we will require high-resolution digital image files. For more information about image quality requirements, please see the Guidelines for Authors.

Please email image files to Kristen Henningson, Managing Editor, at [khenningson@quintbook.com](mailto:khenningson@quintbook.com) or upload to a file transfer service of your choice, such as [wetransfer.com](http://wetransfer.com) or [hightail.com](http://hightail.com). If necessary, mail a disk containing the image files to:

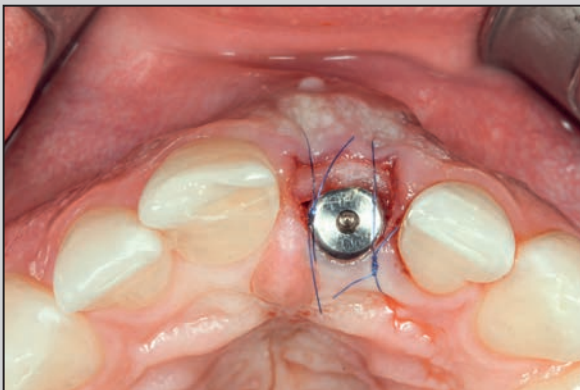
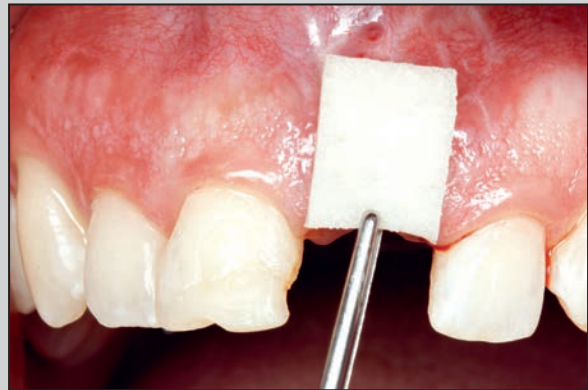
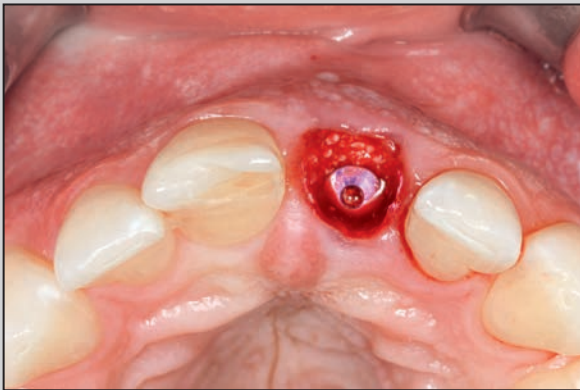
Managing Editor  
Quintessence Publishing Co Inc.  
411 N. Raddant Road  
Batavia, IL 60510

Sincerely,

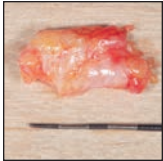
Marc L Nevins, DMD, MMSc  
Editor-in-Chief, IJPRD

[marc\\_nevins@hms.harvard.edu](mailto:marc_nevins@hms.harvard.edu)

International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry



# Immediate Implant Placement in Conjunction with Acellular Dermal Matrix or Connective Tissue Graft: A Randomized Controlled Clinical Volumetric Study



Arndt Happe, DDS, PhD<sup>1</sup>  
 Leonie Debring, DMD<sup>2</sup>  
 Alexander Schmidt, DMD, DDS<sup>3</sup>  
 Vincent Fehmer, MDT<sup>4</sup>  
 Jörg Neugebauer, DDS, PhD<sup>5</sup>

Connective tissue grafts have become a standard for compensating horizontal volume loss in immediate implant placement. The use of new biomaterials like acellular matrices may avoid the need to harvest autogenous grafts, yielding less postoperative morbidity. This randomized comparative study evaluated the clinical outcomes following extraction and immediate implant placement in conjunction with anorganic bovine bone mineral (ABBM) and the use of a porcine acellular dermal matrix (ADM) vs an autogenous connective tissue graft (CTG) in the anterior maxilla. Twenty patients (11 men, 9 women) with a mean age of 48.9 years (range: 21 to 72 years) were included in the study and randomly assigned to either the test (ADM) or control (CTG) group. They underwent tooth extraction and immediate implant placement together with ABBM for socket grafting and either ADM or CTG for soft tissue augmentation. Twelve months after implant placement, the cases were evaluated clinically and volumetrically. All implants achieved osseointegration and were restored. The average horizontal change of the ridge dimension at 1 year postsurgery was  $-0.55 \pm 0.32$  mm for the ADM group and  $-0.60 \pm 0.49$  mm for the CTG group. Patients of the ADM group reported significantly less postoperative pain. Using xenografts for hard and soft tissue augmentation in conjunction with immediate implant placement showed no difference in the volume change in comparison to an autogenous soft tissue graft, and showed significantly less postoperative morbidity. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2022;42:381–390. doi: 10.11607/prd.5632

<sup>1</sup>Private Practice, Münster, Germany; Department of Oral and Maxillofacial Plastic Surgery, University of Cologne, Köln, Germany; Department of Prosthetic Dentistry, Center of Dentistry, University of Ulm, Ulm, Germany.

<sup>2</sup>Private Practice, Münster, Germany.

<sup>3</sup>Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University of Münster, Münster, Germany.

<sup>4</sup>Department of Fixed Prosthodontics and Biomaterials, Clinical of Dental Medicine, Geneva, Switzerland.

<sup>5</sup>Department of Oral and Maxillofacial Plastic Surgery, University of Cologne, Köln, Germany.

Correspondence to: Dr Arndt Happe, Schützenstr. 2, 48 143 Münster, Germany.  
 Fax: 0049 251 40 271. Email: a.happe@dr-happe.de

Submitted January 7, 2021; accepted April 14, 2021.  
 ©2022 by Quintessence Publishing Co Inc.

Immediate implant placement is a well-documented treatment that allows, in select cases, extraction of failing teeth and implant placement in the same session.<sup>1,2</sup> The scientific data suggest that implants placed in sockets immediately after extraction lead to a better esthetic outcome than an early or delayed approach.<sup>1,3</sup> However, there is a risk of soft tissue deterioration and horizontal ridge deficiency with loss of the midfacial contour.<sup>1,4,5</sup> These phenomena seem to be caused by resorption of the buccal wall of the extraction socket.<sup>6,7</sup> Specific risk factors for the loss of the midfacial contour have been identified, including the individual periodontal biotype, a buccal position of the implant, and a thin or damaged buccal plate.<sup>4</sup>

After various studies showed that augmenting the gap between the implant and the buccal plate with bone substitutes like anorganic bovine bone mineral (ABBM) decreases horizontal resorption and improves the clinical outcome,<sup>8–10</sup> the augmentation of the buccal soft tissue with autogenous connective tissue grafts (CTGs) in conjunction with immediate implant placement became subject to clinical research and showed reliable results in terms of compensating for the volume changes of the facial tissues after immediate implant placement.<sup>11–13</sup> The use of soft tissue grafts buccal to immediate implants

leads to a thicker peri-implant mucosa that is located more coronally<sup>14</sup> and to a better esthetic outcome<sup>15</sup> when compared to surgery without soft tissue grafting.

Subepithelial CTGs have been used for many years in plastic periodontal surgery in the esthetic zone, but apparently the additional surgical site at the palate (donor site) leads to higher postoperative morbidity for the patient.<sup>16,17</sup> That is the reason that collagen biomaterials like the xenogeneic acellular dermal matrix (ADM) have been introduced in order to replace autogenous soft tissue grafts. These dermal matrices show good biocompatibility and have demonstrated their potential to thicken oral mucosa at teeth<sup>18</sup> and implant sites.<sup>19–22</sup> However, only scarce evidence is available today regarding the use of these materials in conjunction with immediate implant placement in the esthetic zone.

The objective of this randomized clinical study was to compare the clinical outcomes of immediate implant placement in the anterior maxilla in conjunction with soft tissue augmentation using a porcine ADM vs subepithelial CTG with a focus on the volume of the facial tissues. Thus, the main outcome evaluated was whether using ABBM + ADM is as effective as using ABBM + CTG in compensating for the volume changes after extraction and immediate implant placement.

Furthermore, clinical parameters, including pain measured on a visual analogue scale (VAS), clinical appearance of the surgical site, and complications, were determined to

compare the postoperative morbidity of both methods.

## Materials and Methods

This study was conducted according to the revised Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) statement<sup>23</sup> updated in 2010<sup>24</sup> and was performed in accordance with Declaration of World's Medical Associations of Helsinki, the German Medical Devices law, ISO 14155 clinical investigation of medical devices, and good clinical practice. The study protocol was approved by the local ethical committee (2012-513-b-S). This survey was designed and registered as a randomized prospective comparative study of 20 patients receiving immediate implant placement in the anterior maxilla with either soft tissue augmentation using a porcine ADM or subepithelial CTG.

### Study Population

Patients selected to participate in this prospective clinical study were counselled and signed a written consent. The inclusion criteria were as follows: Patients with a failing tooth in the anterior maxilla, needing immediate implant placement, and having an intact buccal wall after extraction. The exclusion criteria were as follows: Patients under 21 years with (1) general relevant medical conditions or basic diseases (any American Society of Anesthesiologists status other than ASA 1); (2) active periodontitis; (3) soft tissue

recession or attachment loss on the tooth to be replaced; (4) a smoking habit > 10 cigarettes/day; (5) insufficient endodontic treatment of the adjacent teeth; and (6) fractured or absent buccal lamella after tooth extraction (socket anatomy other than Type I, according to Elian et al<sup>25</sup>).

All patients underwent oral hygiene instructions (Fig 1). Twenty consecutive patients requiring tooth extraction and immediate single implant placement in the anterior maxilla (canine to canine) were enrolled in the study. Ten patients (5 men, 5 women) between the ages of 33 and 71 years (mean: 48.5 years) were randomly assigned to the test group (ADM), and 10 patients (6 men, 4 women) between the ages of 21 and 72 years (mean: 49.4 years) were assigned to the control group (CTG). All surgeries were performed by one oral surgeon with over 20 years of implant experience (A.H.).

### Clinical Procedures

All patients underwent standardized diagnosis and treatment planning procedures, and all consented to the treatment. They were informed about the timeline of the study and the importance of the scheduled follow-ups (Fig 2).

Before surgery, impressions of the site were taken using high-precision silicone (Aquasil Ultra, Dentsply Sirona). The soft tissue biotype was determined clinically using a periodontal probe (Fig 3)

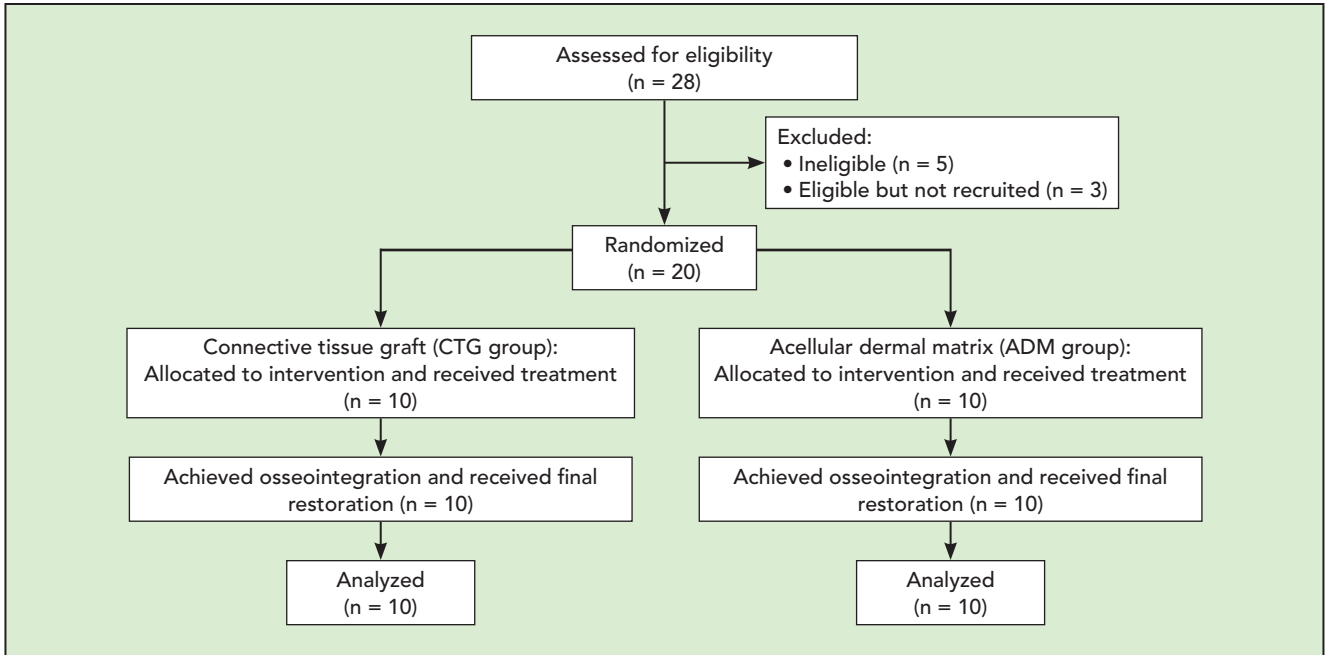


Fig 1 Flowchart of participants according to the study design and the CONSORT statement.<sup>23,24</sup>

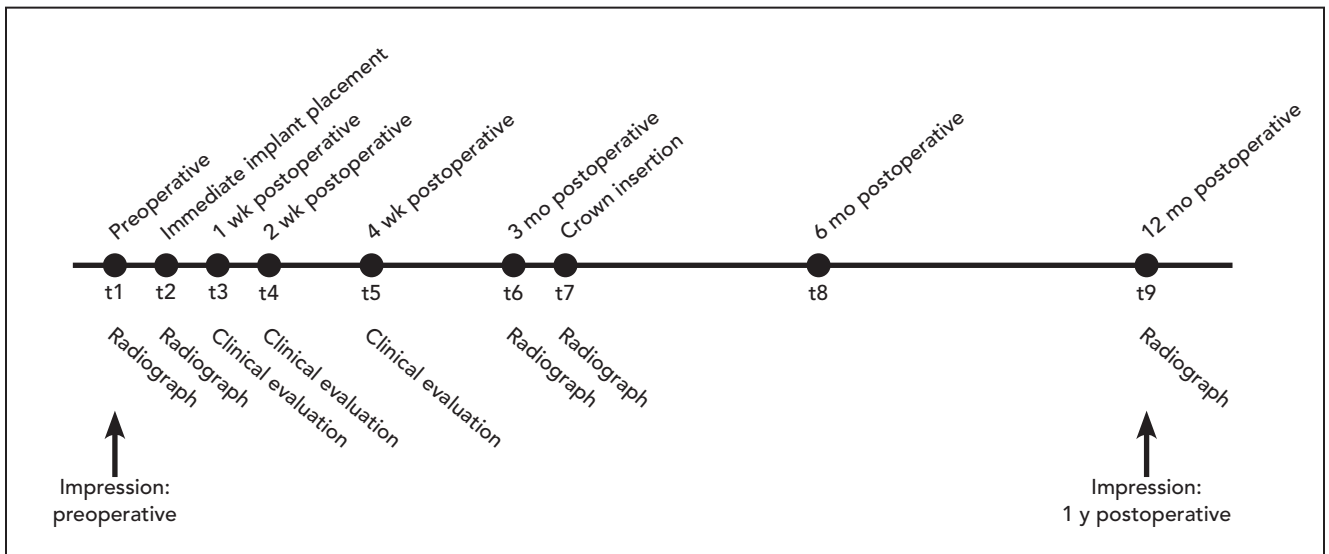
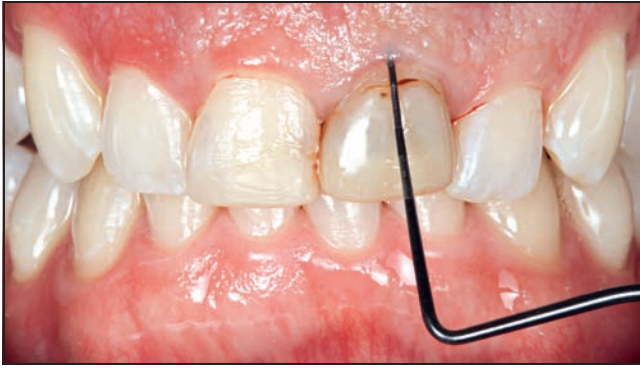


Fig 2 Treatment sequence and time points of the evaluation (t1 to t9).

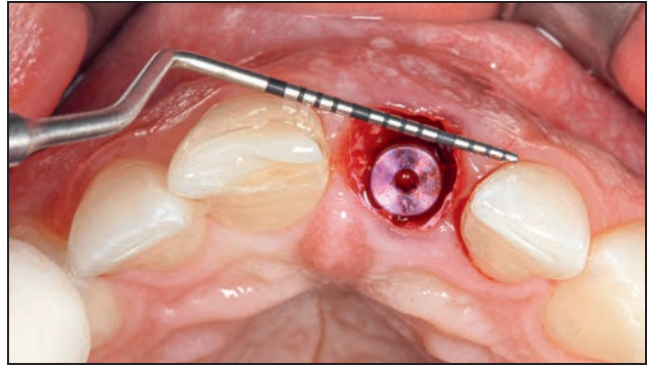
and the “shine-through of the periodontal probe” criterion (thick or thin biotype) according to Kan et al.<sup>26</sup> Before extraction, pictures of the clinical site and radiographs of the surgical site were taken.

After careful tooth removal, the condition of the buccal plate was assessed and the implant (Screw-Line Promote Plus, Camlog Biotechnologies) was inserted in the palatal compartment of the socket, leaving

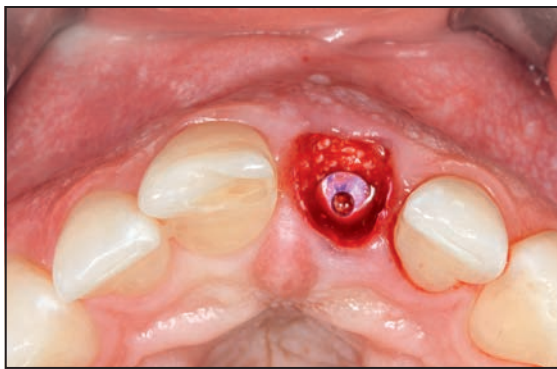
a minimum 2-mm gap to the buccal plate (Fig 4). The gap was filled with a combination of ABBM and collagen (Bio-Oss Collagen, Geistlich) (Fig 5). In order to augment the buccal mucosa, the recipient site was



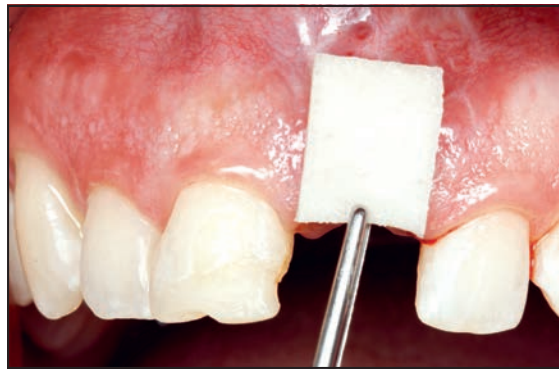
**Fig 3** Preoperative evaluation of the periodontal phenotype (biotype), performed at t1.



**Fig 4** Immediate implant placement in the palatal compartment of the socket, performed at t2.



**Fig 5** The gap between implant and buccal plate was grafted.



**Fig 6** The dermal matrix was tailored to fit the site (test group).

prepared by making one intrasulcular incision and a split-thickness flap, without any releasing incisions, to create a buccal pouch. The graft type was randomly assigned by letters based on randomization lists.

In the test group, a 2-mm-thick porcine ADM (Mucoderm, Botiss Dental) was rehydrated and placed into the recipient site (Fig 6). After rehydration, the matrix thickness increased to 3 mm.

In the control group, a CTG was harvested as a free graft from the palate. Adipose tissue was removed from the graft, and a 15c blade was used to trim the graft to be 3 mm thick. The graft was then inserted

in the buccal pouch with a standard operational protocol.

After soft tissue augmentation, a healing cap replaced the implant cover screw, and the mucosa was readapted, using surgical sutures to cover the graft to a considerable extent (6-0 Seralene, Serag-Wiessner) (Fig 7).

Patients were instructed not to brush in the surgical area for 14 days and to rinse with 0.2% chlorhexidine digluconate three times per day. Furthermore, each patient was prescribed 600 mg ibuprofen, taken as required. Antibiotic prophylaxis using 500 mg amoxicillin tid or 300 mg clindamycin tid

was performed for each patient for 1 week postoperatively. Postoperative healing was monitored at 1, 2, and 4 weeks postsurgery.

Twelve weeks after implant placement, successful healing was evaluated clinically (Fig 8) and with periapical radiographs. At this time, implants were restored with zirconia abutments luted to a titanium base and all-ceramic single crowns (Figs 9 and 10).

Except for the mode of soft tissue grafting, the treatment, evaluation, and measurements were the same for both groups (an example of the CTG group is shown in Figs 11 to 13).



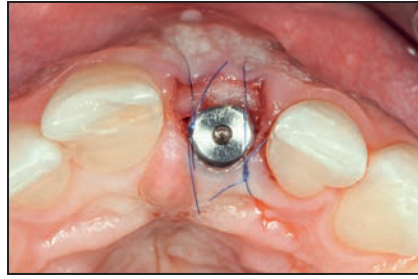
### Data Acquisition

The treatment sequence and time points for evaluation are shown in Fig 2. In summary, the following evaluations were performed: (1) tissue volume immediately before and 12 months after immediate implant placement (t1 and t9, respectively); and (2) clinical evaluation of the healing process (clinical aspect and VAS-assessed pain) at 1, 2, and 4 weeks postoperative (t3, t4, and t5, respectively).

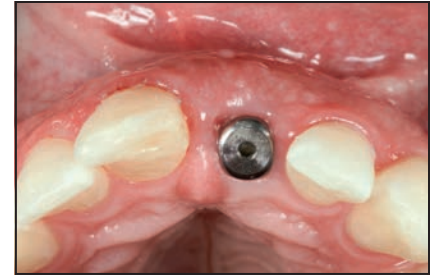
Shortly after surgery (t3 and t4), clinical parameters related to postoperative morbidity were assessed: pain on a VAS (ranging from 0 to 10, with 0 representing no pain and 10 representing the worst pain), swelling, paresthesia, and hematoma, etc, were documented on every patient. The clinical appearance of the site was evaluated at every appointment (color, paresthesia, necrosis, etc). Furthermore, dental impressions were taken. Radiographs were taken using the Rinn technique during the normal routine and 1 year after implant placement.

### Evaluation of the Ridge Dimension Change

One year after implant placement, an impression was taken in order to assess the volume change over that period. To measure the change in ridge dimension, the present authors followed an approach that was previously well-described in the literature.<sup>27</sup> Dental stone casts were fabricated (Fujirock, GC) and optically scanned with a CAD/CAM



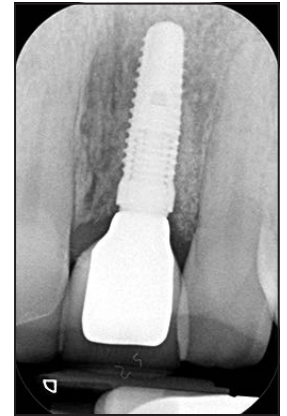
**Fig 7** End of surgery: A healing abutment was placed. The dermal matrix was secured with microsurgical sutures (test group).



**Fig 8** Healed site at 3 months postoperative (test group).



**Fig 9** Final result 12 months (t9) after immediate implant placement in conjunction with ADM (test group).

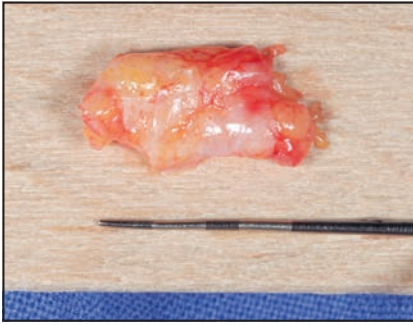


**Fig 10** Periapical radiograph of the final restoration at t9 (test group).

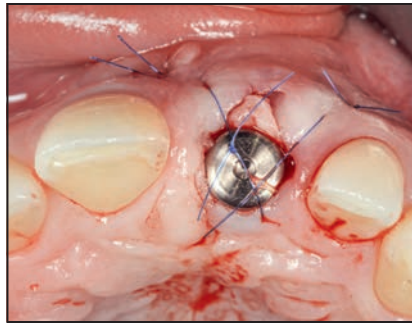
scanner (Imetric 3D, Imetric 4D Imaging). The data (STL [standard tessellation language] files) were then imported into a digital imaging program (SMOP, Swissmeda) to analyze the volumetric changes of the implant side (Fig 14). Both scans (preoperative and 1 year postoperative) were superimposed and matched in a common coordinate system using the best-fit algorithm at the tooth surface. Afterwards, the volumetric changes at the buccal implant site were measured in a defined trapezoid-shaped area of interest, localized 1 mm apical to the gingival margin. In consequence of different anatomical structures, the area of

interest varies between patients but was kept constant at one patient for both measurements.

The volume change was analyzed descriptively due to different sizes of the area of interest in each patient. In this way, the volume could be compared apart from the selected size of the measured area. After collecting the data in a spreadsheet (Excel 2016, Microsoft), the data were evaluated with a statistical software (SPSS, IBM). The explorative statistical analysis with mean and SD values was tested for significance by Student *t* test with a *P* value of .05. For the visualization, Tukey box plots were used.



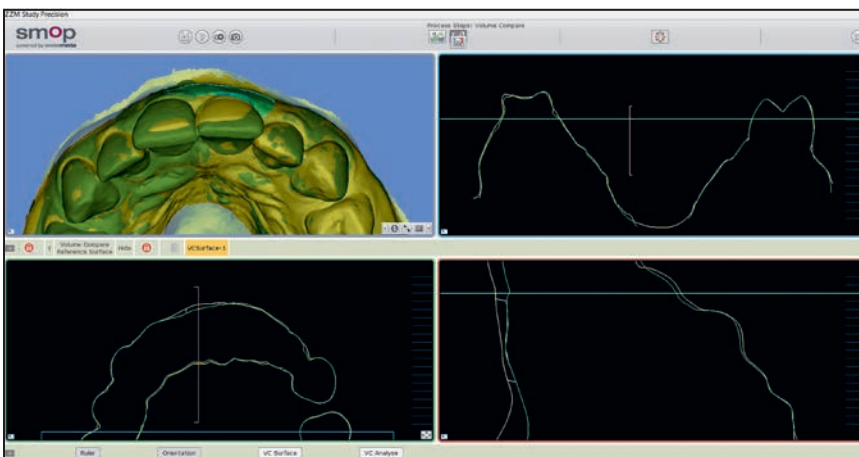
**Fig 11** A subepithelial CTG was taken from the premolar area of the palate (control group).



**Fig 12** The CTG was inserted into the buccal pouch and secured with microsurgical sutures, performed at t2 (control group).



**Fig 13** Final result 12 months (t9) after immediate implant placement in conjunction with CTG (control group).



**Fig 14** Superimposing and matching both t1 and t9 scans in the software for the analysis of volumetric changes.

## Results

All 20 implant sites healed uneventfully, and no infection occurred. All

implants achieved osseointegration and could be restored after the 12-week healing phase. As expected, all patients with a smoking

habit (two in the CTG group, one in the ADM group) showed mild complications up to 2 weeks postoperative, including superficial necrosis, and all grafts were still fibrin-covered.

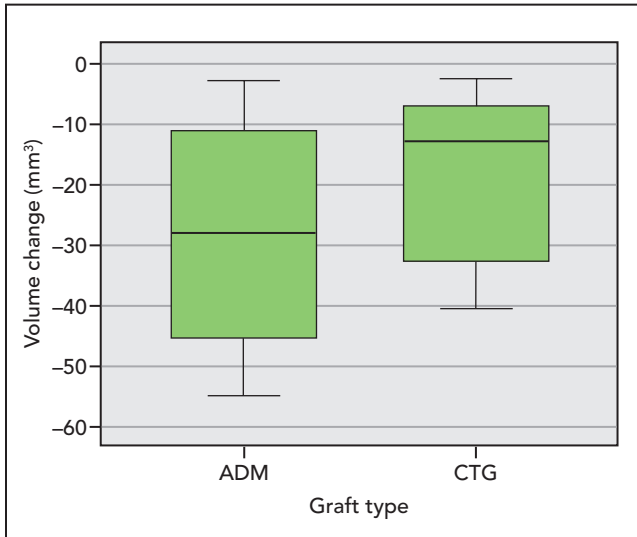
In the ADM group, one soft tissue healing was delayed after a superficial necrosis of the mucosa, buccal to the graft. The site healed without scarring after 2 weeks.

All sites showed a volume loss at 12 months postsurgery (t9).

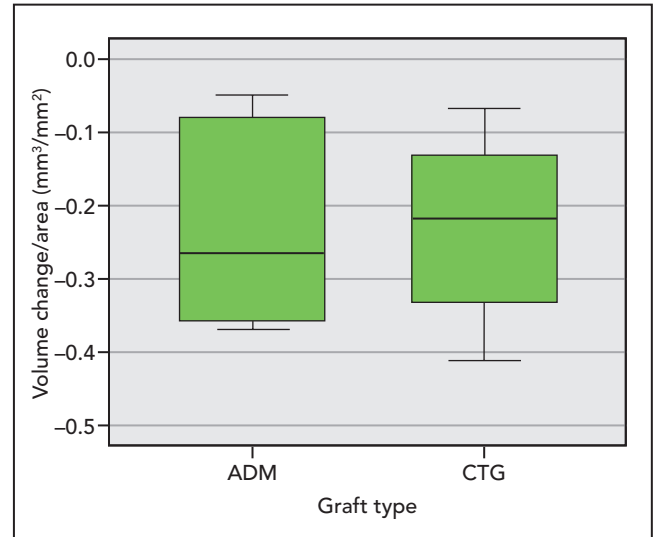
The mean change of the total volume was  $-27.7 \pm 19.24 \text{ mm}^3$  for the ADM group and  $-18.3 \pm 13.82 \text{ mm}^3$  for the CTG group, with no significant difference ( $P = .226$ ) (Fig 15). In addition, the ratio of volume change to the measured area was calculated, as the measured area depends on the particular individual's anatomy. No significant difference ( $P = .883$ ) was found between the average scores for the ADM group ( $-0.23 \pm 0.128 \text{ mm}^3/\text{mm}^2$ ) and the CTG group ( $-0.22 \pm 0.116 \text{ mm}^3/\text{mm}^2$ ) (Fig 16).

To determine the linear change of the ridge, the mean distance between the two surface scans was evaluated, finding no significant difference ( $P = .157$ ) for the ADM group ( $-0.55 \pm 0.330 \text{ mm}$ ) and the CTG group ( $-0.60 \pm 0.491 \text{ mm}$ ) (Fig 17).

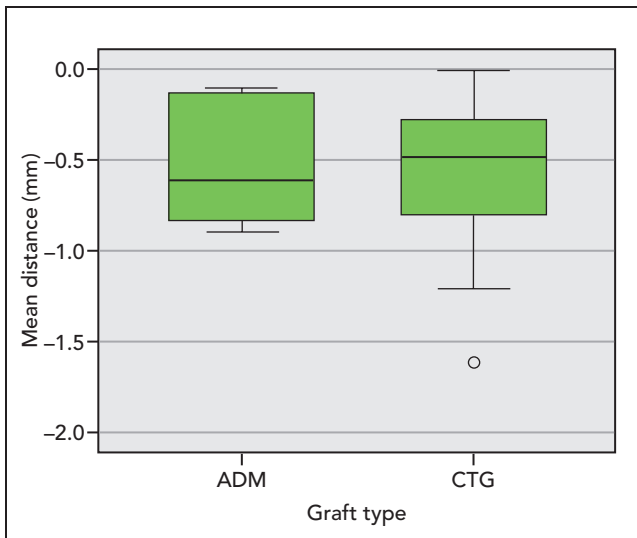
When comparing the two groups, the main differences were found for pain reported on the VAS (Fig 18). After 1 week, pain was rated with a median of 1 and a variance of 2 in the ADM group, and a median of 4 and a variance of 8.4 for the CTG group. Comparison of the mean values showed a significant



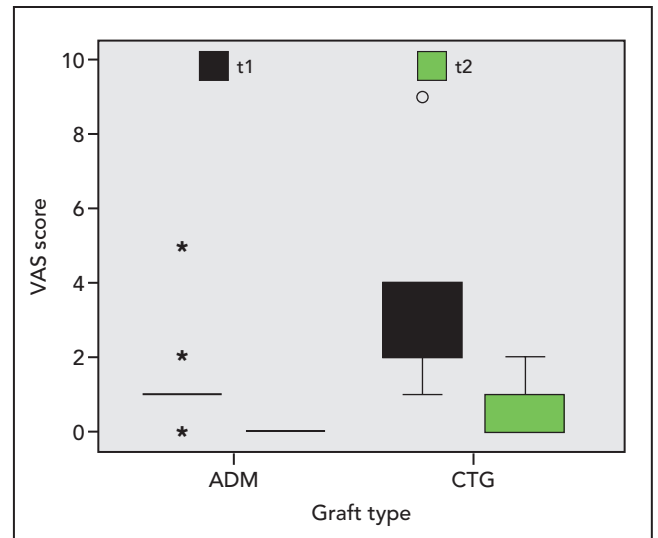
**Fig 15** Tukey box and whisker plot of the soft tissue volume change from t1 to t9 in both groups.



**Fig 16** Tukey box and whisker plot of the ratio of volume change to the measured area in both groups.



**Fig 17** Tukey box and whisker plot of the linear change of buccal mucosal surface from t1 to t9 in both groups.



**Fig 18** Tukey box and whisker plot of the reported pain (VAS score) at 1 week (t3) and 2 weeks (t4) after surgery in both groups. For the VAS scores, 0 represents no pain and 10 represents the worst pain.

difference ( $P = .017$ ). After 2 weeks, all patients in the ADM group declared no pain, while 30% of CTG patients still suffered mild pain, with a median of 0.0 and a variance of 0.77 for the whole group (Tables 1 and 2).

**Discussion**

The cumulative implant success rate following single immediate tooth replacement and soft tissue augmentation with a xenograft or autogenous graft was 100%.

All 20 implants achieved osseointegration, and the tested surgical approach yielded uneventful healing in all 20 sites, without major complications. All implants could be restored after the healing phase of 3 months. No adverse event was

**Table 1 Clinical Parameters of the CTG Group**

Patient no.	VAS score		Clinical appearance of the graft	
	1 wk postoperative	2 wk postoperative	1 wk postoperative	2 wk postoperative
1	2	0	Pink	Pink
2	2	0	Pink	Pink
3	1	0	Pink	Pink
4	1	0	Fibrin-covered	Fibrin-covered
5	9	2	Fibrin-covered, necrosis	Fibrin-covered, necrosis
6	4	2	Pink/white	Pink
7	4	0	Pink	Pink
8	9	0	Fibrin-covered	Fibrin-covered
9	4	1	White	Fibrin-covered
10	4	0	Fibrin-covered	Fibrin-covered, swelling
Mean	4.00	0.5		
SD	2.90	0.85		

CTG = connective tissue graft; VAS = visual analog scale (0 = no pain; 10 = worst pain).

**Table 2 Clinical Parameters of the ADM Group**

Patient no.	VAS score		Clinical appearance of the graft	
	1 wk postoperative	2 wk postoperative	1 wk postoperative	2 wk postoperative
1	1	0	Pink/fibrin-covered	Pink
2	1	0	Pink/fibrin-covered	Pink
3	2	0	Fibrin-covered	Pink
4	5	0	Pink	Pink
5	1	0	Pink	Pink
6	1	0	Pink	Pink
7	1	0	Pink	Pink
8	0	0	Pink	Pink
9	1	0	Fibrin-covered, necrosis	Pink
10	0	0	Pink	Pink
Mean	1.30	0		
SD	1.41	0		

ADM = acellular dermal matrix; VAS = visual analog scale (0 = no pain; 10 = worst pain).

observed, and only one mild complication occurred. The complication (superficial soft tissue necrosis) healed spontaneously within

2 weeks with very little pain (VAS score: 1), and the horizontal change was only  $-0.12$  mm. This delayed healing did not compromise the

final result. In contrast, rates of necrosis complications have been reported up to 20% in CTGs in combination with immediate implant

placement.<sup>11</sup> In the present CTG cohort, one soft tissue necrosis occurred and healed well after 2 weeks, but the graft appearance was fibrin-covered for more than 2 weeks postoperatively.

The ADM cohort showed a pink appearance for all grafts after 2 weeks. Within the limitations of the present study, the results show that using ADM as a substitute for CTG in conjunction with immediate implant placement showed good biocompatibility and clinical performance. The VAS pain evaluation showed postoperative scores ranging between 0 and 2, with the exception of one patient who reported a score of 5 in the first week. All patients reported absence of pain at 14 days postsurgery. From a clinical standpoint, that indicates that the approach was successful and showed good results, low postoperative morbidity, and no major complications.

A typical complication of immediate implant placement in fresh extraction sockets is the three-dimensional volume change that occurs after healing, which may lead to recession and esthetic impairment.<sup>2,3</sup> Grunder performed a comparative case series on immediate implant placement, treating two groups: one with and one without CTG.<sup>12</sup> He reported on an average volume loss of 1.063 mm<sup>3</sup> in the non-grafted group after a follow-up of 6 months. In the present study, the horizontal ridge change 12 months after implant placement was below 1 mm for all cases. No significant difference was found between the groups regarding volume change.

Limitations of this study include the limited number of patients and the relatively short 1-year follow-up period. Different authors report continued deterioration of the facial soft tissue over a period of 5 and 8 years after immediate implant placement.<sup>5,28</sup> However, the present results show that it is possible to successfully replace failing anterior maxillary teeth with immediate implants in combination with hard and soft tissue augmentation using xenografts alone. Moreover, the results show that the use of the ADM yielded in significantly less postoperative morbidity for the patients, with comparable results regarding volume stability. The use of ADM in dental implantology might mitigate patients' postoperative morbidity and facilitate the treatment.

Prospective randomized controlled trials and comparative studies with larger numbers of patients and longer follow-up periods are needed to confirm the present findings.

## Conclusions

The approach using xenografts for hard and soft tissue augmentation in conjunction with immediate implant placement showed no difference in volume change in comparison to autogenous soft tissue grafts, but with significantly less postoperative morbidity.

## Acknowledgments

This study was supported by the Oral Reconstruction Foundation ([www.orfoundation.org](http://www.orfoundation.org)).

All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study. The authors declare no conflicts of interest.

## References

1. Chen ST, Buser D. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl):186–217.
2. Buser D, Chappuis V, Belser UC, Chen S. Implant placement post extraction in esthetic single tooth sites: When immediate, when early, when late? *Periodontol* 2000 2017;73:84–102.
3. Esposito M, Grusovin MG, Polyzos IP, Felice P, Worthington HV. Timing of implant placement after tooth extraction: immediate, immediate-delayed or delayed implants? A Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implantol* 2010;3:189–205.
4. Chen ST, Wilson TG Jr, Hämmerle CH. Immediate or early placement of implants following tooth extraction: Review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19(suppl):12–25.
5. Cosyn J, Eghbali A, Hermans A, Vervaeke S, De Bruyn H, Cleymaet R. A 5-year prospective study on single immediate implants in the aesthetic zone. *J Clin Periodontol* 2016;43:702–709.
6. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
7. Botticelli D, Berglundh T, Lindhe J. Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites. *J Clin Periodontol* 2004;31:820–828.
8. Chen ST, Darby IB, Reynolds EC. A prospective clinical study of non-submerged immediate implants: Clinical outcomes and esthetic results. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:552–562.
9. Araújo MG, Linder E, Lindhe J. Bio-Oss collagen in the buccal gap at immediate implants: A 6-month study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:1–8.

10. Tarnow DP, Chu SJ, Salama MA, et al. Flapless postextraction socket implant placement in the esthetic zone: Part 1. The effect of bone grafting and/or provisional restoration on facial-palatal ridge dimensional change—A retrospective cohort study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014;34:323–331.
11. Tsuda H, Rungcharassaeng K, Kan JY, Roe P, Lozada JL, Zimmerman G. Peri-implant tissue response following connective tissue and bone grafting in conjunction with immediate single-tooth replacement in the esthetic zone: A case series. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:427–436.
12. Grunder U. Crestal ridge width changes when placing implants at the time of tooth extraction with and without soft tissue augmentation after a healing period of 6 months: Report of 24 consecutive cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011;31:9–17.
13. Bianchi AE, Sanfilippo F. Single-tooth replacement by immediate implant and connective tissue graft: A 1–9-year clinical evaluation. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:269–277.
14. Lin GH, Chan HL, Wang HL. Effects of currently available surgical and restorative interventions on reducing midfacial mucosal recession of immediately placed single-tooth implants: A systematic review. *J Periodontol* 2014;85:92–102.
15. Boardman N, Darby I, Chen S. A retrospective evaluation of aesthetic outcomes for single-tooth implants in the anterior maxilla. *Clin Oral Implants Res* 2016;27:443–451.
16. Klinge B, Flemmig TF; Working Group 3. Tissue augmentation and esthetics (Working Group 3). *Clin Oral Implants Res* 2009;20(suppl 4):166–170.
17. Thoma DS, Benić GI, Zwahlen M, Hämmerle CH, Jung RE. A systematic review assessing soft tissue augmentation techniques. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(suppl 4):146–165.
18. Schmitt CM, Matta RE, Moest T, et al. Soft tissue volume alterations after connective tissue grafting at teeth: The subepithelial autologous connective tissue graft versus a porcine collagen matrix—A pre-clinical volumetric analysis. *J Clin Periodontol* 2016;43:609–617.
19. Puisys A, Linkevicius T. The influence of mucosal tissue thickening on crestal bone stability around bone-level implants. A prospective controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:123–129.
20. Zafiroopoulos GG, Deli G, Hoffmann O, John G. Changes of the peri-implant soft tissue thickness after grafting with a collagen matrix. *J Indian Soc Periodontol* 2016;20:441–445.
21. Linkevicius T, Puisys A, Steigmann M, Vindasiute E, Linkeviciene L. Influence of vertical soft tissue thickness on crestal bone changes around implants with platform switching: A comparative clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17:1228–1236.
22. Lissek M, Boeker M, Happe A. How thick is the oral mucosa around implants after augmentation with different materials: A systematic review of the effectiveness of substitute matrices in comparison to connective tissue grafts. *Int J Mol Sci* 2020;21:5043.
23. Moher D, Schulz KF, Altman DG; CONSORT Group (Consolidated Standards of Reporting Trials). The CONSORT statement: Revised recommendations for improving the quality of reports of parallel-group randomized trials. *J Am Podiatr Med Assoc* 2001;91:437–442.
24. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *J Pharmacol Pharmacother* 2010;1:100–107.
25. Elian N, Cho SC, Froum S, Smith RB, Tarnow DP. A simplified socket classification and repair technique. *Pract Proced Aesthet Dent* 2007;19:99–104; quiz 106.
26. Kan JY, Morimoto T, Rungcharassaeng K, Roe P, Smith DH. Gingival biotype assessment in the esthetic zone: Visual versus direct measurement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30:237–243.
27. Sailer I, Hämmerle CH. Zirconia ceramic single-retainer resin-bonded fixed dental prostheses (RBFDPs) after 4 years of clinical service: A retrospective clinical and volumetric study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014;34:333–343.
28. Kan JY, Rungcharassaeng K, Lozada JL, Zimmerman G. Facial gingival tissue stability following immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: A 2- to 8-year follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:179–187.

## 4. Diskussion

Ziel dieser klinisch kontrollierten Patientenstudie war es, an Sofortimplantaten in der ästhetischen Zone, das Leistungsverhalten des Bindegewebestransplantats, welches immer noch den Goldstandard in der modernen Zahnheilkunde darstellt, mit einem xenogenen Ersatzmaterial porciner Herkunft zu vergleichen. Beide Methoden wurden über einen Zeitraum von einem Jahr im Hinblick auf Volumenstabilität des bukkalen periimplantären Weichgewebes und klinischen Aspekten wie Schmerzempfinden und postoperativen Komplikationen miteinander verglichen. Die Effektivität zur nachhaltigen Weichgewebeverdickung beider Materialien wurde volumetrisch erfasst. Zudem wurden klinische Parameter wie Schmerz (VAS), Erscheinungsbild des Transplantats und Komplikationen dokumentiert und miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind klinisch relevant, da die Verwendung eines Ersatzmaterials für Bindegewebe im Zusammenhang mit einer Sofortimplantation zu einer Vereinfachung des chirurgischen Eingriffes und zu einer Reduktion der postoperativen Morbidität führen kann. Die vorliegende Studie liefert hierzu erste Ergebnisse.

Die Studie zeigt, dass die kumulative Implantaterfolgsrate nach einem Sofortimplantat in Kombination mit einer Weichgewebsaugmentation mit einem xenogenen Transplantat oder einem autologen Transplantat über den Beobachtungszeitraum 100 % betrug.

Alle zwanzig Implantate osseointegrierten erfolgreich und der getestete chirurgische Ansatz führte zu einer ereignislosen Heilung der zwanzig OP-Gebiete ohne größere Komplikationen. Alle Implantate konnten nach der Heilungsphase von drei Monaten prothetisch versorgt werden.

Diese Ergebnisse korrelieren mit den Ergebnissen von verschiedenen Studien zur Sofortimplantation, die von hohem Erfolg bezüglich Einheilung und Osseointegration berichten.<sup>56,87,88</sup>

Verschiedene Studien haben den Einsatz von Bindegewebestransplantaten in Zusammenhang mit Sofortimplantaten ebenfalls untersucht. Die 2011 publizierte, vergleichende Pilotstudie von Gruner<sup>77</sup> untersuchte ein Kollektiv mit 24 Probanden, von der eine Gruppe mit zwölf Probanden gleichzeitig mit Implantation und Hartgewebsaugmentation ein Bindegewebestransplantat erhielt, die andere Gruppe nicht. Die Gruppe mit Transplantat zeigte nach einem halben Jahr einen horizontalen Gewebezugewinn von 0,34 mm, während die Gruppe ohne Transplantat einen horizontalen Verlust von 1,063 mm verzeichnete. Diese

Unterschiede waren signifikant und bestätigten den Nutzen eines Weichgewebstransplantates bei der Sofortimplantation.

Im Gegensatz zu Grunder konnten wir in keiner der Gruppen eine Zunahme des Volumens ermitteln, wie er sie in seiner BGT-Gruppe im Mittel messen konnte. Allerdings waren die gemessenen linearen Volumenverluste in den beiden Gruppen dieser Studie kleiner als die von Grunder in der Kontrollgruppe, also der nicht augmentierten Gruppe gemessenen Werte.

Tsuada<sup>78</sup> aus der Forschungsgruppe um Kan veröffentlichte im gleichen Jahr eine Fallserie mit zehn Probanden, jedoch ohne Kontrollgruppe. Die Autoren berichteten, dass die Kombination aus Augmentation des Spaltes zwischen Implantat und bukkaler Lamelle, Bindegewebstransplantat und korrekter dreidimensionaler Position des Implantates sehr gute Ergebnisse lieferte. Nach einem Beobachtungszeitraum von zwölf Monaten zeigte sich eine Volumenstabilität, die nicht näher evaluiert wurde und lediglich eine minimale Weichgewebsrezession von 0,05 mm.

Beide Studien berichten nicht über die postoperative Morbidität oder *patient related outcome measures* (PROMs). Die Evaluation von PROMs, also Bewertungskriterien aus der Patientenperspektive ist insofern wichtig, um Patientenzufriedenheit mit der jeweiligen Behandlung zu erfassen. Nach Feine et. al.<sup>89</sup> sollten PROMs in jeder klinischen Studie Anwendung finden. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wurde der subjektiv empfundene Schmerz der Patienten über 14 Tage postoperativ auf einer analogen visuellen Skala (visual analog scale – VAS) evaluiert. Das aufgezeichnete Schmerzempfinden der Probanden zwischen den beiden Gruppen war signifikant unterschiedlich. Das liegt daran, dass bei der BGT-Gruppe (Kontrollgruppe) ein zusätzlicher OP-Situs – die Entnahmestelle – notwendig wird. Die erhöhte Morbidität durch diese Entnahmestelle lässt sich in den Ergebnissen der Schmerzaufzeichnung deutlich erkennen und statistisch erfassen.

Dieser Umstand kann ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Therapieentscheidung sein, wenn sich – wie in dieser Studie – die anderen Ergebnisparameter nicht signifikant unterscheiden.

Die Verwendung von azellulären dermalen Matrices zur Verdickung der periimplantären Mukosa wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht, jedoch nicht in der Indikation der Sofortimplantation. In einer systematischen Übersichtsarbeit, die insgesamt sieben vergleichende klinische Studien einschloss, zeigten sowohl ADM als auch BGT das Potential periimplantäres Weichgewebe zu verdicken. Drei Studien von sieben berichteten dabei über signifikant bessere Ergebnisse bei den autologen Bindegewebstransplantaten<sup>90</sup>. In den restlichen vier Studien unterschieden sich die autologen Transplantate nicht signifikant von



der ADM. Die Ergebnisse lassen sich insofern nicht vergleichen, da unterschiedliche Medizinprodukte (also Matrices) zur Anwendung kamen und unterschiedliche OP-Techniken verwendet wurden. Sie zeigen jedoch grundsätzlich das Potential dieser Ersatzmaterialien.

Auch in der vorliegenden Studie konnten bezüglich des klinischen Heilungsverlaufs des Weichgewebstransplantates nur kleine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beobachtet werden. Insgesamt wurde in der ADM-Gruppe (Test-Gruppe) kein unerwünschtes Ereignis beobachtet, es trat nur eine leichte Komplikation auf in Form einer oberflächlichen Weichteilnekrose, die aber innerhalb von zwei Wochen spontan mit mäßigen Schmerzen (VAS mit 1) ausheilte und eine horizontale Veränderung von nur -0,12 mm aufwies. Diese verzögerte Heilung beeinträchtigte das Ergebnis nicht. Für Bindegewebstransplantate wird in der Literatur von Komplikationen von bis zu 20 % (Nekrose-Rate) in Kombination mit einer sofortigen Implantatinsertion berichtet.<sup>72</sup> In dieser Studie trat in der BGT-Kohorte (Kontrollgruppe) eine oberflächliche Weichteilnekrose auf, die ebenfalls nach zwei Wochen heilte, das Transplantat war über zwei Wochen postoperativ mit Fibrin bedeckt.

Alle Transplantate der ADM-Kohorte zeigten zwei Wochen nach Transplantation ein rosa Erscheinungsbild. Der Heilungsmodus von autologem Transplantat und ADM imponierte klinisch also sehr ähnlich. Im Rahmen dieser Studie zeigen die Ergebnisse, dass die azelluläre dermale Matrix in der Indikation als Ersatz für das Bindegewebstransplantat in Verbindung mit einem Sofortimplantat eine gute Biokompatibilität und klinische Performance zeigte.

Eine Limitation der vorliegenden Studie ist die begrenzte Anzahl von Patienten und die relativ kurze Nachbeobachtungszeit von einem Jahr. Verschiedene Autoren berichten von einer anhaltenden Verschlechterung des vestibulären Weichgewebes über einen Zeitraum von fünf und acht Jahren nach Sofortimplantation.<sup>91,92</sup> Über den hier zugrunde gelegten Nachbeobachtungszeitraum von einem Jahr postoperativ konnten in keiner der Gruppen relevante Volumenverluste beobachtet werden.

Die Forschung benennt im Wesentlichen die Weichgewebsrezession als typische ästhetische Komplikation nach Sofortimplantation.<sup>46,56</sup> Weichgewebsrezessionen wurden in dieser Studie nicht direkt gemessen. Sie sind jedoch als Ausdruck des Volumenverlustes in der Folge des postoperativen Remodelings nach Extraktion und Implantation zu sehen. Somit stehen Rezession und Volumenverlust in direkter Beziehung zueinander.

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Oberkieferfrontzähne erfolgreich durch Sofortimplantate in Kombination mit einer Augmentation von Hart- und Weichgewebe allein mit xenogenen Ersatzmaterialien für Hart- und Weichgewebe zu ersetzen. Darüber hinaus

zeigen die Ergebnisse, dass die Verwendung der azellulären Bindegewebmatrix in dieser Studie bei den Patienten mit vergleichbaren Ergebnissen hinsichtlich der Volumenstabilität zu einer signifikant geringeren postoperativen Morbidität führte. Die Verwendung von ADM in der Implantologie könnte die postoperative Morbidität der Patienten lindern und die Behandlung erleichtern.

Prospektive, randomisierte, kontrollierte Studien und Vergleichsstudien mit einer größeren Anzahl von Patienten und längeren Nachbeobachtungszeiträumen sind erforderlich, um unsere Ergebnisse zu bestätigen. Außerdem sollten weitere Parameter wie etwa die Weichgewebsrezession, krestales Knochenremodeling und das ästhetische Erscheinungsbild (Pink Esthetic Score) als Bewertungskriterien Berücksichtigung finden.

## 5. Literaturverzeichnis

1. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Branemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg* 1981; **10**(6): 387-416.
2. Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clinical oral implants research* 2004; **15**(6): 667-76.
3. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986; **1**(1): 11-25.
4. Buser D, Sennerby L, De Bruyn H. Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions. *Periodontol 2000* 2017; **73**(1): 7-21.
5. Jung RE, Zembic A, Pjetursson BE, Zwahlen M, Thoma DS. Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2012; **23 Suppl 6**: 2-21.
6. Vermeylen K, Collaert B, Linden U, Bjorn AL, De Bruyn H. Patient satisfaction and quality of single-tooth restorations. *Clinical oral implants research* 2003; **14**(1): 119-24.
7. Furhauser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clinical oral implants research* 2005; **16**(6): 639-44.
8. Belser UC, Schmid B, Higginbottom F, Buser D. Outcome analysis of implant restorations located in the anterior maxilla: a review of the recent literature. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; **19 Suppl**: 30-42.
9. Slade GD, Spencer AJ. Development and evaluation of the Oral Health Impact Profile. *Community Dent Health* 1994; **11**(1): 3-11.
10. Wittneben JG, Wismeijer D, Bragger U, Joda T, Abou-Ayash S. Patient-reported outcome measures focusing on aesthetics of implant- and tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018; **29 Suppl 16**: 224-40.
11. Branemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindstrom J, Ohlsson A. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1969; **3**(2): 81-100.
12. Chuang SK, Tian L, Wei LJ, Dodson TB. Kaplan-Meier analysis of dental implant survival: a strategy for estimating survival with clustered observations. *J Dent Res* 2001; **80**(11): 2016-20.
13. Gettleman L, Schnitman PA, Kalis P, et al. Clinical evaluation criteria of tooth implant success. *J Oral Implantol* 1978; **8**(1): 12-28.
14. Karoussis IK, Salvi GE, Heitz-Mayfield LJ, Bragger U, Hammerle CH, Lang NP. Long-term implant prognosis in patients with and without a history of chronic periodontitis: a 10-year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System. *Clin Oral Implants Res* 2003; **14**(3): 329-39.
15. Schulte W, Kleineikenscheidt H, Lindner K, Schareyka R. [The Tübingen immediate implant in clinical studies]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1978; **33**(5): 348-59.
16. Gomez-Roman G, Schulte W, d'Hoedt B, Axman-Krcmar D. The Frialit-2 implant system: five-year clinical experience in single-tooth and immediately postextraction applications. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; **12**(3): 299-309.
17. Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2004; **15**(6): 667-76.
18. Bornstein MM, Halbritter S, Harnisch H, Weber HP, Buser D. A retrospective analysis of patients referred for implant placement to a specialty clinic: indications, surgical procedures, and early failures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; **23**(6): 1109-16.

19. Dahlin C, Linde A, Gottlow J, Nyman S. Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plast Reconstr Surg* 1988; **81**(5): 672-6.
20. Dahlin C, Sennerby L, Lekholm U, Linde A, Nyman S. Generation of new bone around titanium implants using a membrane technique: an experimental study in rabbits. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989; **4**(1): 19-25.
21. Nyman S, Lang NP, Buser D, Bragger U. Bone regeneration adjacent to titanium dental implants using guided tissue regeneration: a report of two cases. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; **5**(1): 9-14.
22. Chen ST, Wilson TG, Jr., Hammerle CH. Immediate or early placement of implants following tooth extraction: review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; **19 Suppl**: 12-25.
23. Hammerle CH, Chen ST, Wilson TG, Jr. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; **19 Suppl**: 26-8.
24. Chen ST, Buser D. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; **24 Suppl**: 186-217.
25. Chen ST, Buser D. Esthetic outcomes following immediate and early implant placement in the anterior maxilla--a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; **29 Suppl**: 186-215.
26. Schopf P. [Significance of skeletal and dental age on the selection of orthodontic treatment systems]. *Fortschr Kieferorthop* 1984; **45**(1): 24-32.
27. Fudalej P, Kokich VG, Leroux B. Determining the cessation of vertical growth of the craniofacial structures to facilitate placement of single-tooth implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; **131**(4 Suppl): S59-67.
28. Westwood RM, Duncan JM. Implants in adolescents: a literature review and case reports. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996; **11**(6): 750-5.
29. Tonetti MS, Chapple IL, Jepsen S, Sanz M. Primary and secondary prevention of periodontal and peri-implant diseases: Introduction to, and objectives of the 11th European Workshop on Periodontology consensus conference. *J Clin Periodontol* 2015; **42 Suppl 16**: S1-4.
30. Lindhe J, Meyle J, Group DoEWoP. Peri-implant diseases: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology. *J Clin Periodontol* 2008; **35**(8 Suppl): 282-5.
31. Matarasso S, Rasperini G, Iorio Siciliano V, Salvi GE, Lang NP, Aglietta M. A 10-year retrospective analysis of radiographic bone-level changes of implants supporting single-unit crowns in periodontally compromised vs. periodontally healthy patients. *Clin Oral Implants Res* 2010; **21**(9): 898-903.
32. Roos-Jansaker AM, Renvert H, Lindahl C, Renvert S. Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part III: factors associated with peri-implant lesions. *J Clin Periodontol* 2006; **33**(4): 296-301.
33. Mombelli A, Lang NP. The diagnosis and treatment of peri-implantitis. *Periodontol* 2000 1998; **17**: 63-76.
34. Sverzut AT, Stabile GA, de Moraes M, Mazzonetto R, Moreira RW. The influence of tobacco on early dental implant failure. *J Oral Maxillofac Surg* 2008; **66**(5): 1004-9.
35. Kasat V, Ladda R. Smoking and dental implants. *J Int Soc Prev Community Dent* 2012; **2**(2): 38-41.
36. Nazeer J, Singh R, Suri P, et al. Evaluation of marginal bone loss around dental implants in cigarette smokers and nonsmokers. A comparative study. *J Family Med Prim Care* 2020; **9**(2): 729-34.
37. Sorensen LT. Wound healing and infection in surgery. The clinical impact of smoking and smoking cessation: a systematic review and meta-analysis. *Arch Surg* 2012; **147**(4): 373-83.
38. Novaes AB, Jr., Vidigal Junior GM, Novaes AB, Grisi MF, Polloni S, Rosa A. Immediate implants placed into infected sites: a histomorphometric study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998; **13**(3): 422-7.

39. Villa R, Crespi R, Cappare P, Gherlone E. Immediate loading of a dental implant placed in fresh socket with acute dehiscence-type defect: a clinical case report. *J Periodontol* 2010; **81**(6): 953-7.
40. Truninger TC, Philipp AO, Siegenthaler DW, Roos M, Hammerle CH, Jung RE. A prospective, controlled clinical trial evaluating the clinical and radiological outcome after 3 years of immediately placed implants in sockets exhibiting periapical pathology. *Clin Oral Implants Res* 2011; **22**(1): 20-7.
41. Bell CL, Diehl D, Bell BM, Bell RE. The immediate placement of dental implants into extraction sites with periapical lesions: a retrospective chart review. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; **69**(6): 1623-7.
42. Renvert S, Aghazadeh A, Hallstrom H, Persson GR. Factors related to peri-implantitis - a retrospective study. *Clin Oral Implants Res* 2014; **25**(4): 522-9.
43. Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005; **32**(2): 212-8.
44. Morton D, Chen ST, Martin WC, Levine RA, Buser D. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding optimizing esthetic outcomes in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; **29 Suppl**: 216-20.
45. Chen ST, Buser D. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; **24 Suppl**: 186-217.
46. Esposito M, Grusovin MG, Polyzos IP, Felice P, Worthington HV. Timing of implant placement after tooth extraction: immediate, immediate-delayed or delayed implants? A Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implantol* 2010; **3**(3): 189-205.
47. Muller HP, Heinecke A, Schaller N, Eger T. Masticatory mucosa in subjects with different periodontal phenotypes. *J Clin Periodontol* 2000; **27**(9): 621-6.
48. Kan JY, Morimoto T, Rungcharassaeng K, Roe P, Smith DH. Gingival biotype assessment in the esthetic zone: visual versus direct measurement. *The International journal of periodontics & restorative dentistry* 2010; **30**(3): 237-43.
49. Kan JY, Morimoto T, Rungcharassaeng K, Roe P, Smith DH. Gingival biotype assessment in the esthetic zone: visual versus direct measurement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010; **30**(3): 237-43.
50. Buser D, Chappuis V, Belser UC, Chen S. Implant placement post extraction in esthetic single tooth sites: when immediate, when early, when late? *Periodontol 2000* 2017; **73**(1): 84-102.
51. Kan JY, Rungcharassaeng K, Lozada JL, Zimmerman G. Facial gingival tissue stability following immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: a 2- to 8-year follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; **26**(1): 179-87.
52. Kan JY, Rungcharassaeng K, Umezaki K, Kois JC. Dimensions of peri-implant mucosa: an evaluation of maxillary anterior single implants in humans. *J Periodontol* 2003; **74**(4): 557-62.
53. Cardaropoli G, Araujo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 2003; **30**(9): 809-18.
54. Nevins M, Camelo M, De Paoli S, et al. A study of the fate of the buccal wall of extraction sockets of teeth with prominent roots. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006; **26**(1): 19-29.
55. Braut V, Bornstein MM, Belser U, Buser D. Thickness of the anterior maxillary facial bone wall-a retrospective radiographic study using cone beam computed tomography. *The International journal of periodontics & restorative dentistry* 2011; **31**(2): 125-31.
56. Chen ST, Wilson TG, Jr., Hammerle CH. Immediate or early placement of implants following tooth extraction: review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; **19 Suppl**: 12-25.
57. Hammerle CH, Chen ST, Wilson TG, Jr. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; **19 Suppl**: 26-8.
58. Fickl S, Schneider D, Zuhr O, et al. Dimensional changes of the ridge contour after socket preservation and buccal overbuilding: an animal study. *J Clin Periodontol* 2009; **36**(5): 442-8.

59. Araujo MG, Sukekava F, Wennstrom JL, Lindhe J. Tissue modeling following implant placement in fresh extraction sockets. *Clin Oral Implants Res* 2006; **17**(6): 615-24.
60. Lang NP, Pun L, Lau KY, Li KY, Wong MC. A systematic review on survival and success rates of implants placed immediately into fresh extraction sockets after at least 1 year. *Clin Oral Implants Res* 2012; **23 Suppl 5**: 39-66.
61. Tomasi C, Sanz M, Cecchinato D, et al. Bone dimensional variations at implants placed in fresh extraction sockets: a multilevel multivariate analysis. *Clin Oral Implants Res* 2010; **21**(1): 30-6.
62. Berglundh T, Lindhe J. Dimension of the periimplant mucosa. Biological width revisited. *J Clin Periodontol* 1996; **23**(10): 971-3.
63. Evans CD, Chen ST. Esthetic outcomes of immediate implant placements. *Clin Oral Implants Res* 2008; **19**(1): 73-80.
64. Esposito M, Grusovin MG, Polyzos IP, Felice P, Worthington HV. Timing of implant placement after tooth extraction: immediate, immediate-delayed or delayed implants? A Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implantol* 2010; **3**(3): 189-205.
65. Huynh-Ba G, Pjetursson BE, Sanz M, et al. Analysis of the socket bone wall dimensions in the upper maxilla in relation to immediate implant placement. *Clin Oral Implants Res* 2010; **21**(1): 37-42.
66. Buser D, Chen ST, Weber HP, Belser UC. Early implant placement following single-tooth extraction in the esthetic zone: biologic rationale and surgical procedures. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008; **28**(5): 441-51.
67. Buser D, Wittneben J, Bornstein MM, Grutter L, Chappuis V, Belser UC. Stability of contour augmentation and esthetic outcomes of implant-supported single crowns in the esthetic zone: 3-year results of a prospective study with early implant placement postextraction. *J Periodontol* 2011; **82**(3): 342-9.
68. Sanz I, Garcia-Gargallo M, Herrera D, Martin C, Figuero E, Sanz M. Surgical protocols for early implant placement in post-extraction sockets: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2012; **23 Suppl 5**: 67-79.
69. Araujo MG, Linder E, Lindhe J. Bio-Oss collagen in the buccal gap at immediate implants: a 6-month study in the dog. *Clinical oral implants research* 2011; **22**(1): 1-8.
70. Botticelli D, Berglundh T, Lindhe J. The influence of a biomaterial on the closure of a marginal hard tissue defect adjacent to implants. An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2004; **15**(3): 285-92.
71. Chen ST, Darby IB, Reynolds EC, Clement JG. Immediate implant placement postextraction without flap elevation. *J Periodontol* 2009; **80**(1): 163-72.
72. Tarnow DP, Chu SJ, Salama MA, et al. Flapless postextraction socket implant placement in the esthetic zone: part 1. The effect of bone grafting and/or provisional restoration on facial-palatal ridge dimensional change—a retrospective cohort study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014; **34**(3): 323-31.
73. Bianchi AE, Sanfilippo F. Single-tooth replacement by immediate implant and connective tissue graft: a 1-9-year clinical evaluation. *Clin Oral Implants Res* 2004; **15**(3): 269-77.
74. Grunder U. Crestal ridge width changes when placing implants at the time of tooth extraction with and without soft tissue augmentation after a healing period of 6 months: report of 24 consecutive cases. *The International journal of periodontics & restorative dentistry* 2011; **31**(1): 9-17.
75. Tsuda H, Rungcharassaeng K, Kan JY, Roe P, Lozada JL, Zimmerman G. Peri-implant tissue response following connective tissue and bone grafting in conjunction with immediate single-tooth replacement in the esthetic zone: a case series. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; **26**(2): 427-36.
76. Sanz M, Simion M, Working Group 3 of the European Workshop on P. Surgical techniques on periodontal plastic surgery and soft tissue regeneration: consensus report of Group 3 of the 10th European Workshop on Periodontology. *J Clin Periodontol* 2014; **41 Suppl 15**: S92-7.

77. Grunder U. Crestal ridge width changes when placing implants at the time of tooth extraction with and without soft tissue augmentation after a healing period of 6 months: report of 24 consecutive cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011; **31**(1): 9-17.
78. Tsuda H, Rungcharassaeng K, Kan JY, Roe P, Lozada JL, Zimmerman G. Peri-implant tissue response following connective tissue and bone grafting in conjunction with immediate single-tooth replacement in the esthetic zone: a case series. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; **26**(2): 427-36.
79. Pabst AM, Happe A, Callaway A, et al. In vitro and in vivo characterization of porcine acellular dermal matrix for gingival augmentation procedures. *J Periodontol Res* 2014; **49**(3): 371-81.
80. Sanz M, Lorenzo R, Aranda JJ, Martin C, Orsini M. Clinical evaluation of a new collagen matrix (Mucograft prototype) to enhance the width of keratinized tissue in patients with fixed prosthetic restorations: a randomized prospective clinical trial. *J Clin Periodontol* 2009; **36**(10): 868-76.
81. Thoma DS, Jung RE, Schneider D, et al. Soft tissue volume augmentation by the use of collagen-based matrices: a volumetric analysis. *J Clin Periodontol* 2010; **37**(7): 659-66.
82. Zeltner M, Jung RE, Hammerle CH, Husler J, Thoma DS. Randomized controlled clinical study comparing a volume-stable collagen matrix to autogenous connective tissue grafts for soft tissue augmentation at implant sites: linear volumetric soft tissue changes up to 3 months. *J Clin Periodontol* 2017; **44**(4): 446-53.
83. Chen ST, Darby IB, Reynolds EC. A prospective clinical study of non-submerged immediate implants: clinical outcomes and esthetic results. *Clin Oral Implants Res* 2007; **18**(5): 552-62.
84. Rothamel D, Benner M, Fienitz T, et al. Biodegradation pattern and tissue integration of native and cross-linked porcine collagen soft tissue augmentation matrices - an experimental study in the rat. *Head Face Med* 2014; **10**: 10.
85. Schneider D, Grunder U, Ender A, Hammerle CH, Jung RE. Volume gain and stability of peri-implant tissue following bone and soft tissue augmentation: 1-year results from a prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res* 2011; **22**(1): 28-37.
86. Schmitt CM, Matta RE, Moest T, et al. Soft tissue volume alterations after connective tissue grafting at teeth: the subepithelial autologous connective tissue graft versus a porcine collagen matrix - a pre-clinical volumetric analysis. *J Clin Periodontol* 2016; **43**(7): 609-17.
87. Cosyn J, Eghbali A, Hermans A, Vervaeke S, De Bruyn H, Cleymaet R. A 5-year prospective study on single immediate implants in the aesthetic zone. *J Clin Periodontol* 2016; **43**(8): 702-9.
88. Kan JY, Rungcharassaeng K, Lozada JL, Zimmerman G. Facial gingival tissue stability following immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: a 2- to 8-year follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; **26**(1): 179-87.
89. Feine J, Abou-Ayash S, Al Mardini M, et al. Group 3 ITI Consensus Report: Patient-reported outcome measures associated with implant dentistry. *Clin Oral Implants Res* 2018; **29 Suppl 16**: 270-5.
90. Lissek M, Boeker M, Happe A. How Thick Is the Oral Mucosa around Implants after Augmentation with Different Materials: A Systematic Review of the Effectiveness of Substitute Matrices in Comparison to Connective Tissue Grafts. *Int J Mol Sci* 2020; **21**(14): 5043.
91. Moher D, Schulz KF, Altman DG, Consort. The CONSORT statement: revised recommendations for improving the quality of reports of parallel group randomized trials. *BMC Med Res Methodol* 2001; **1**: 2.
92. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *J Pharmacol Pharmacother* 2010; **1**(2): 100-7.