

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Dieter Drescher

**Penetration des Canalis incisivus bei media-
ner Insertion von
Mini-Implantaten im anterioren Gaumen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Susan Yama

2020

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Dieter Drescher

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger

meiner Familie gewidmet

I. Zusammenfassung

Bei der medianen Insertion von Mini-Implantaten im anterioren Gaumen besteht das Risiko einer Penetration des Canalis incisivus. Die vorliegende Studie sollte ermitteln, von welchen Parametern die Wahrscheinlichkeit einer Penetration abhängt und welche klinischen Schlussfolgerungen daraus gezogen werden können. Bei digitalen Volumentomographie (DVT) -Aufnahmen von 50 Patienten wurde der Canalis incisivus dreidimensional dargestellt und hinsichtlich seiner Morphologie kategorisiert. An fünf medianen Positionen des anterioren Gaumens wurde eine virtuelle Insertion in je vier Eintrittswinkeln vorgenommen und festgestellt, ob eine Penetration des Kanals stattfand. Statistisch wurde analysiert, ob die Penetrationswahrscheinlichkeit von der Anzahl der Kanäle, von der Form der Kanäle, von der Insertionsposition, vom Insertionswinkel oder vom Alter der Patienten abhing. Die Penetrationswahrscheinlichkeit war nicht signifikant abhängig von der Anzahl der Kanäle, von der Form der Kanäle und vom Alter der Patienten. Eine signifikante Abhängigkeit konnte jedoch bezüglich der antero-posterioren Position gefunden werden: je weiter posterior inseriert wurde, desto geringer war die Penetrationsrate ($p < .001$). Auch der Insertionswinkel relativ zur Okklusionsebene zeigte eine signifikante Abhängigkeit: je kleiner der Winkel gewählt wurde, desto größer war die Wahrscheinlichkeit einer Penetration ($p < .001$). Mit Hilfe der virtuellen Insertion von Mini-Implantaten im DVT kann eine Penetration des Canalis incisivus dreidimensional visualisiert werden. Die Penetrationswahrscheinlichkeit hängt statistisch signifikant von der antero-posterioren Position und vom Insertionswinkel ab. Diese Parameter lassen sich klinisch leicht kontrollieren. Die nur im DVT vollständig darstellbaren morphologischen Variationen des Kanals hatten hingegen keinen Einfluss auf die Trefferrate. Insofern erweist sich das DVT für die Planung der Implantatinsertion als verzichtbar.

II. Abstract

The median insertion of Mini-implants into the anterior palate presents a risk of penetration of the incisive canal. The purpose of this study was to determine from which parameters the probability of penetration depends and which clinical conclusions can be drawn from it. In maxillary cone-beam computed tomography (CBCT) -images of 50 patients, the incisive canal was visualized in three dimensions and categorized according to its morphology. At five median positions of the anterior palate, a virtual insertion was made in each of four entrance angles and it was determined whether a penetration of the channel took place. Statistically, it was analyzed whether the penetration probability depended on the number of channels, on the shape of channels, on the insertion position, on the insertion angle or on the age of the patients. The penetration probability was not significantly dependent on the number of channels, on the shape of channels and on the age of the patients. However, a significant dependency could be found with respect to the antero-posterior position: the more posteriorly it was inserted, the lower the penetration rate ($p < .001$). The angle of insertion relative to the occlusal plane also showed a significant dependence: the smaller the angle chosen, the greater the probability of penetration ($p < .001$). Penetration of the incisive canal can be visualized in three dimensions with the virtual insertion of Mini-implants in CBCT. The penetration probability depends statistically significantly on the antero-posterior position and on the insertion angle. These parameters are clinically easy to control. The morphological variants of the channel, which can only be fully represented in CBCT, had no influence on the hit rate. In this respect, the CBCT proves to be dispensable for the planning of the implant insertion.

III. Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
A.	Arteria
Abb.	Abbildung
BIOS	<i>Bioresorbable implant anchor for orthodontics system</i>
Bit	<i>Binary digit</i>
CBCT	<i>Cone beam computed tomography</i>
CT	Computertomographie
d	Differenz zwischen beiden Messergebnissen
df	<i>degrees of freedom</i>
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
DVT	Digitale Volumetomographie
FOV	<i>Field of view</i>
kV	Kilovolt
LKG	Lippen-Kiefer-Gaumenspalte
mA	Milliampere
MF	Methodenfehler
mm	Millimeter
n	Anzahl
np	nicht penetriert
N.	Nervus
Nn.	Nervi
OPG	Orthopantomogramm
OR	<i>Odds Ratio</i>
p	penetriert
ROI	<i>Region of interest</i>
sig.	signifikant
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
t	tangiert
µSv	Mikrosievert

IV. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Anteriorer Gaumen	3
2.2 Canalis incisivus	6
2.2.1 Anatomie des Canalis incisivus	6
2.2.2 N. nasopalatinus	7
2.2.3 Morphologische Variationen des Canalis incisivus.....	8
2.2.4 Histologie des Canalis incisivus	10
2.2.5 Akzessorische Kanäle	11
2.3 Verletzung des N. nasopalatinus	12
2.4 Mini-Implantate	13
2.4.1 Insertionsorte für Mini-Implantate	13
2.4.2 Erfolgsraten von Mini-Implantaten	15
2.5 Digitale Volumetomographie	16
2.5.1 Technische Parameter.....	16
2.5.2 Indikationen	20
3. Ziele	21
4. Material und Methode	21
4.1 Datenverarbeitung	22
4.2 Methodisches Vorgehen	22
4.3 VoXim® osteo.....	23
4.3.1 Segmentierung	24
4.3.2 Arbeitsschritte der semi-automatischen Segmentierung	26
4.3.3 Arbeitsschritte der manuellen Segmentierung	26
4.3.4 Arbeitsschritte im Modul „Skeleton“	29
4.4 Statistische Analyse.....	34

5. Ergebnisse	35
5.1 Ergebnisse der statistischen Auswertung	35
5.1.1 Penetrationswahrscheinlichkeit.....	35
5.1.1.1 In Abhängigkeit von der Kanalanzahl	35
5.1.1.2 In Abhängigkeit von der Kanalform	38
5.1.1.3 In Abhängigkeit vom Alter der Patienten.....	41
5.1.1.4 In Abhängigkeit vom Insertionswinkel	44
5.1.1.5 In Abhängigkeit vom Insertionsabstand	47
5.1.1.6 In Abhängigkeit von drei Prädiktoren	49
5.2 Ergebnisse der virtuellen Messungen	53
5.2.1 Auswertungen der DVT-Aufnahmen	53
5.2.2 Auswertungen der virtuellen Insertionen.....	54
5.2.3 Methodenfehler nach Dahlberg.....	63
5.3 Zusammenfassung	65
6. Diskussion	67
6.1 Diskussion der Methoden	67
6.2 Diskussion der Ergebnisse	69
6.3 Empfehlung für eine zukünftige Studie.....	71
6.4 Schlussfolgerung	72
7. Anhang	73
7.1 Literaturverzeichnis.....	73

1. Einleitung

Der Einsatz von Mini-Implantaten findet in den letzten Jahren in der Kieferorthopädie immer mehr Anwendung, da sie bei speziellen kieferorthopädischen Behandlungen zur skelettalen Verankerung dienen.^{18, 69} Eine dentale Verankerung kann aufgrund der reaktiv entstehenden Kräfte zu unerwünschten Nebenwirkungen an den Ankerzähnen führen.⁵² Dieser Verankerungsverlust geht meist mit unzureichenden Behandlungsergebnissen einher. Der Aufbau einer suffizienten, skelettalen Verankerung ist heutzutage ein wesentlicher Punkt im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung, da zum Einen die skelettale Verankerung mit Mini-Implantaten kontrollierte Zahnbewegungen in der sagittalen, transversalen und vertikalen Ebene ermöglicht^{12, 42} und zum Anderen viele erwachsene Patienten aufgrund fehlender Zähne oder einer parodontal geschädigten Dentition eine geringere dentale Verankerungsmöglichkeit aufweisen.¹⁷ Kieferorthopädische Mini-Implantate wurden erstmals 1997 von Kanomi vorgestellt.³¹ Aufgrund der geringeren Invasivität und Kosten haben sich Mini-Implantate unter diversen skelettalen Verankerungssystemen etabliert.^{31, 89} Die in der Literatur angegebenen Verlustquoten von Mini-Implantaten variieren und sind unter anderem abhängig von dem Insertionsort^{66, 86}, der Beschaffenheit der Gingiva⁵³, der engen Lagebeziehung zu benachbarten Wurzeln¹⁰, dem Gewindedesign und der Insertionstechnik.²⁴ Wesentliche Faktoren für die erfolgreiche Insertion von Mini-Implantaten sind ein ausreichendes Knochenangebot³ sowie eine nicht bewegliche Schleimhautbedeckung des Knochens.^{32, 33} In der Maxilla bietet sich insbesondere der anteriore Gaumen aufgrund der guten Knochenqualität und -quantität sowie der dünnen Gingiva als eine gute Insertionsregion an.^{30, 33} Das Mini-Implantat wird im anterioren Gaumen je nach Indikation median oder paramedian inseriert. Aufgrund des median größeren Knochenangebots sowie der biomechanischen Kopplung in Belastungsrichtung hat sich die mediane Insertion im klinischen Einsatz oftmals als geeignet herausgestellt. Auch ist die Gefahr der Wurzelverletzung hierbei geringer.⁹⁴ Im Verlauf von zahnärztlichen Eingriffen kann es unter anderem zur Verletzung des N. nasopalatinus kommen³⁶, daher sollte vor der Implantatchirurgie auf anatomische Strukturen, wie zum Beispiel den Canalis

1. Einleitung

incisivus, geachtet werden.^{43, 63} In der Literatur finden sich Angaben darüber, dass traumatische oder iatrogene Verletzungen des N. nasopalatinus zu Hypästhesie, Parästhesie oder Schmerzen führen können.⁸ Anhand von DVT-Aufnahmen, welche aufgrund einer anderen rechtfertigenden Indikation angefertigt wurden, soll in dieser Studie die Lagebeziehung zwischen einem Mini-Implantat und den anatomischen Strukturen dreidimensional analysiert werden. Des Weiteren soll mit Hilfe der vorliegenden DVT-Aufnahmen ermittelt werden, ob morphologische Variationen des Canalis incisivus existieren. Die Studienergebnisse werden auf statistische Unterschiede untersucht. Das Ziel dieser Studie ist es sichere Insertionsorte und -winkel zu identifizieren, um Penetrationen des Canalis incisivus bei medianer Insertion von Mini-Implantaten im anterioren Gaumen zu vermeiden. Mit den Ergebnissen dieser Studie soll dem Kliniker eine Empfehlung gegeben werden, welcher Insertionsort im anterioren Gaumen zur Aufnahme eines Mini-Implantates geeignet ist.

2. Literaturübersicht

2.1 Anteriorer Gaumen

Der Gaumen bildet das Dach der Mundhöhle. Man unterscheidet den weichen, beweglichen Gaumen und den harten Gaumen, welcher die ventralen Zweidrittel des Gaumens einnimmt. Der harte Gaumen wird aus dem Proceccus palatinus der Maxilla und der Lamina horizontalis des Gaumenbeins gebildet. Der Verbund dieser Knochenplatten erfolgt durch die Sutura palatina mediana und Sutura palatina transversa (Abb. 1 und 2).^{22, 44}

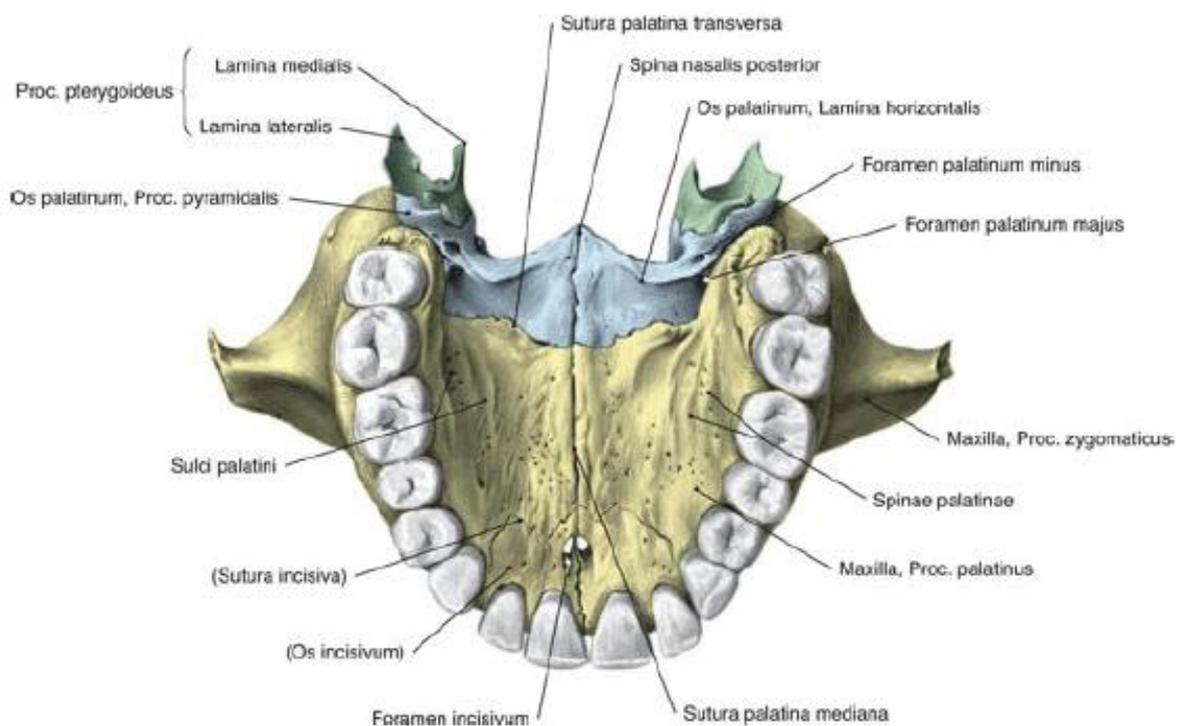


Abb. 1: Orale Ansicht des knöchernen harten Gaumens.⁶¹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

Auf Höhe des dritten Molaren befinden sich sowohl im ersten als auch im zweiten Quadranten das Foramen palatinum majus und das Foramen palatinum minus

2. Literaturübersicht

(Abb. 1). Das Foramen palatinum majus ist die Mündungsstelle für den Canalis palatinus major. Durch ihn treten der N. palatinus major und die A. palatina major durch, welche die Schleimhaut des harten Gaumens versorgen. Durch das Foramen palatinum minus hingegen verlaufen der N. palatinus minor und die A. palatina minor. Diese versorgen die Schleimhaut des weichen Gaumens.

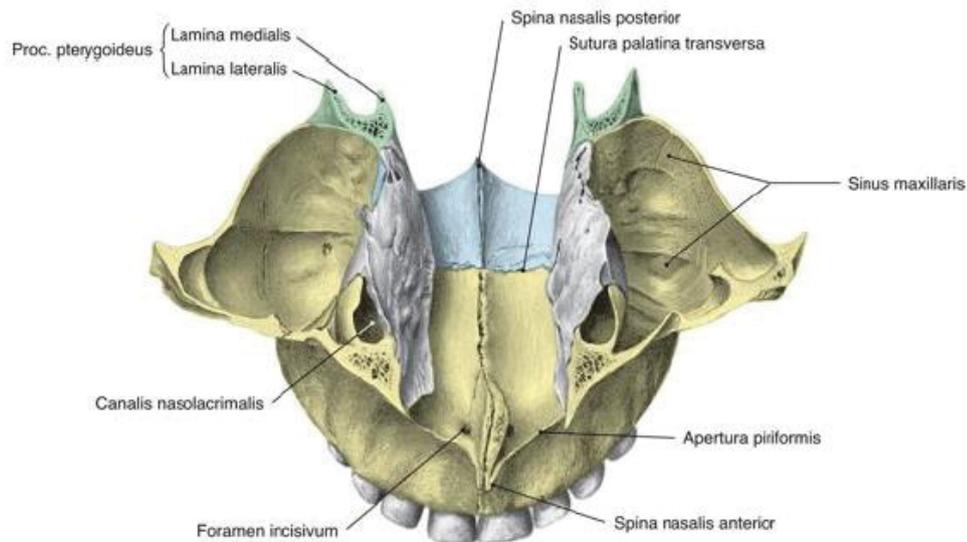


Abb. 2: Nasale Ansicht des knöchernen harten Gaumens.⁶¹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

Die Schleimhautbedeckung ist im Bereich des harten Gaumens aufgrund der festen Verwachsung mit dem Periost nicht beweglich. Sie ist von zahlreichen kleinen Speicheldrüsen, den Glandulae palatinae, durchsetzt. Im ventralen Teil des harten Gaumens verlaufen im anterioren Bereich der Raphe palatina mediana die querverlaufenden Gaumenfalten und charakterisieren das Relief der Gaumenschleimhaut.^{22, 44, 96} Palatinal der Schneidezähne im Oberkiefer ist die Papilla incisiva lokalisiert und ist charakterisiert durch eine ovale Schleimhauerhebung (Abb. 3).⁷⁸

2. Literaturübersicht

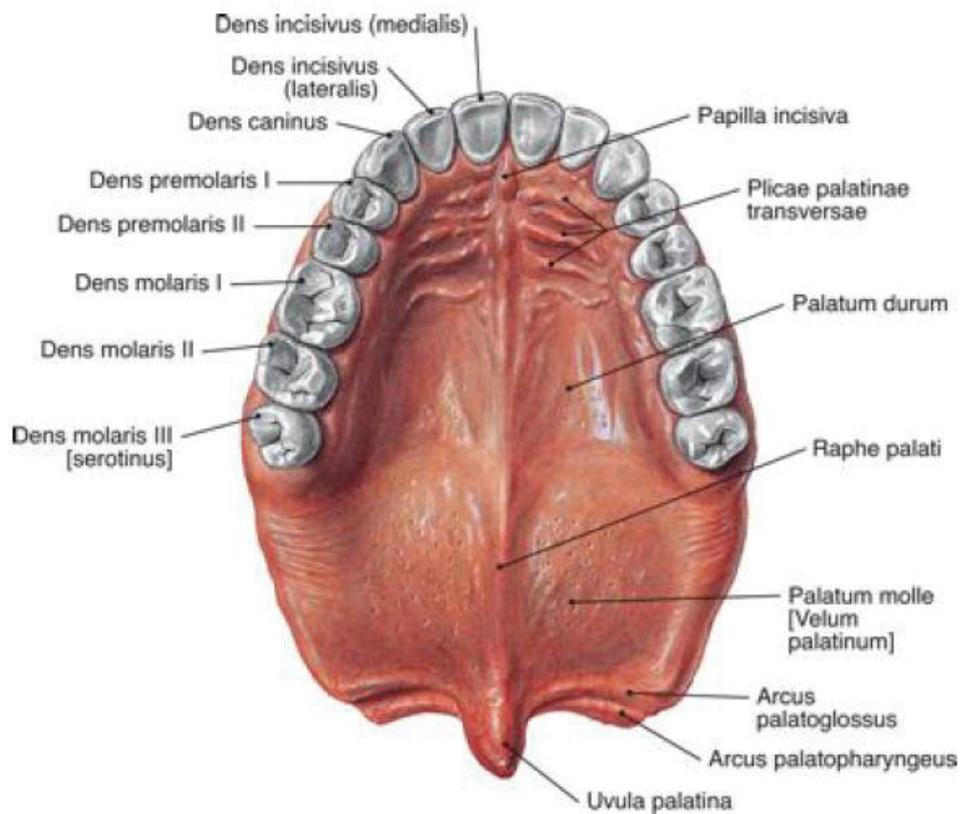


Abb. 3: Orale Ansicht des harten und des weichen Gaumens.⁶¹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

Die Papilla incisiva liegt nahezu über dem unpaaren Foramen incisivum, welches die kaudale Öffnung des Canalis incisivus und nach kranial eine Verbindung zur Nasenhöhle darstellt (Abb. 1 und 2).^{22, 79} Die vertikale Knochendicke des anterioren Gaumens variiert in Abhängigkeit von der anatomischen Topographie. Ludwig et al. geben für die Knochendicke des harten Gaumens Werte zwischen 3,8 mm und 8,3 mm an.⁴⁸ Auch Hourfar et al. führten zur Bestimmung der Knochendicke des anterioren Gaumens Messungen durch und beschreiben Werte zwischen 1,51 mm und 13,86 mm.²⁷ Dabei belegen beide Autoren, dass die Knochendicke von anterior nach posterior abnimmt.^{27, 48} Schlegel et al. geben für die Knochendicke median des Os palatinum rund 15 mm an.⁷⁰

2. Literaturübersicht

2.2 Canalis incisivus

2.2.1 Anatomie des Canalis incisivus

Der Canalis incisivus ist ein relativ langer und enger, knöcherner Kanal, welcher in der Medianlinie der Maxilla lokalisiert ist. Die anteriore und die mediale Wand werden von der Prämaxilla gebildet, wohingegen die Maxilla den posterioren und lateralen Anteil des knöchernen Kanals bildet.^{34, 65} Der Canalis incisivus verbindet das Dach der Mundhöhle mit dem Boden der Nasenhöhle (Abb. 4).^{39, 79}

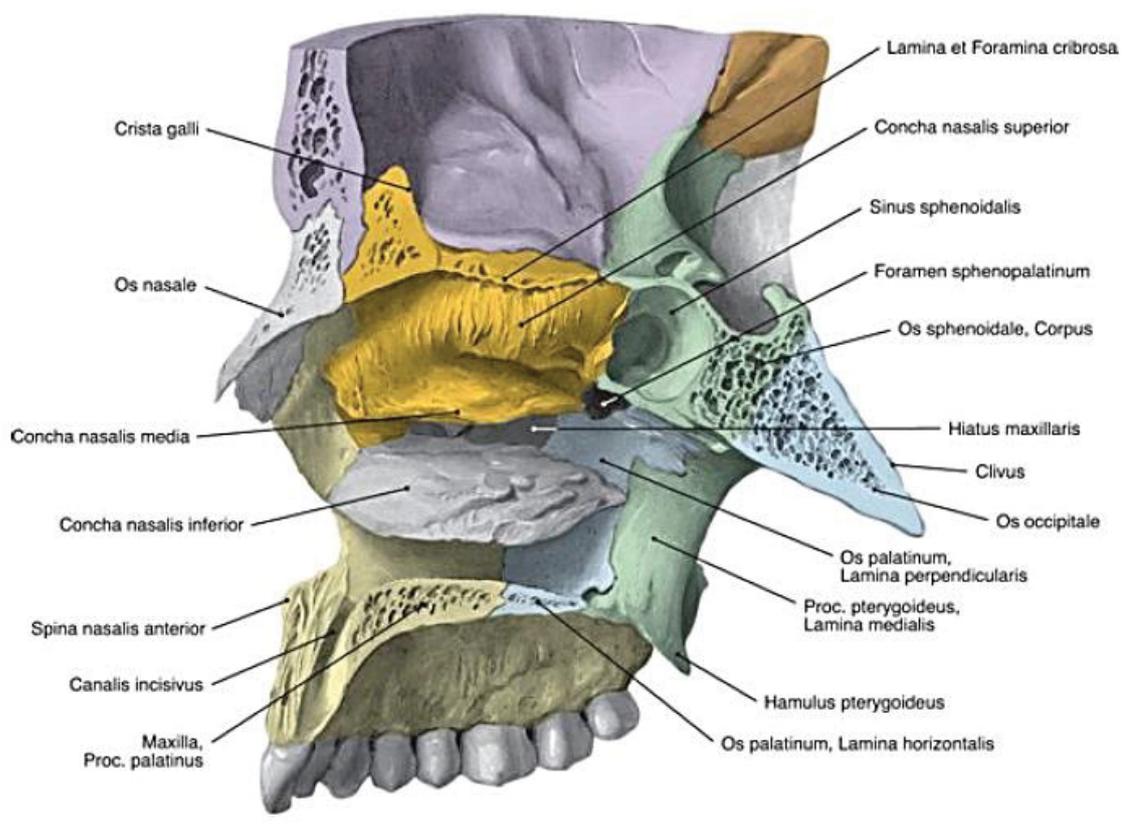


Abb. 4: Sagittale Ansicht des knöchernen harten Gaumens.⁶¹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

Der kraniale, nasale Teil ist durch das Nasenseptum am Nasenboden in zwei Foramina unterteilt, den Foramina nasopalatini oder auch Foramina nach Stensen genannt. Die Teilungsstelle befindet sich im oberen Fünftel des Kanals (Abb.

2. Literaturübersicht

5). Der kaudale Bereich des Canalis incisivus geht in das Foramen incisivum über.^{29, 79, 80} Das Foramen incisivum wird in der Literatur als eine oval geformte und nach postero-inferior gerichtete Öffnung bezeichnet.^{79, 82} Thakur et al. und Jacobs et al. haben in ihren Studien sowohl runde als auch herzförmige Öffnungen beschrieben.^{29, 82} Der Durchmesser des Foramen incisivum variiert zwischen 2,93 mm⁸³ und 4,45 mm.⁷ Die beiden nasalen Öffnungen, Foramina nach Stensen, werden hingegen mit einem Durchmesser zwischen 2,86 mm⁸² und 3,49 mm⁷ beschrieben.

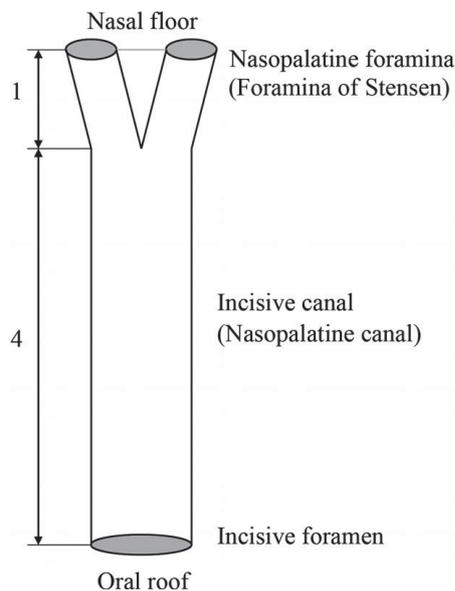


Abb. 5: Y-förmige Morphologie des Canalis incisivus.⁷⁹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

2.2.2 N. nasopalatinus

Durch den Canalis incisivus verlaufen der N. nasopalatinus und die Endäste der A. palatina descendens.⁹⁶ Diese kommunizieren mit dem hinteren Ast der A. sphenopalatina und dem N. palatinus major.⁸² Der N. nasopalatinus ist ein Ast aus dem Ganglion pterygopalatinum und zieht von der Nasenhöhle beidseits am Nasenseptum entlang in Richtung des anterioren Nasenbodens. Dort vereinigt er

2. Literaturübersicht

sich mit dem Nerv der Gegenseite und verläuft dann weiter im Canalis incisivus. Am Foramen incisivum verlässt der Nerv als N. incisivus den Kanal und versorgt die Schleimhaut des anterioren Gaumens.^{22, 44}

2.2.3 Morphologische Variationen des Canalis incisivus

Song et al. haben eine anatomische Studie durchgeführt, die sich unter anderem mit den morphologischen Variationen des Kanalverlaufes und der Anzahl der Kanäle beschäftigt.⁷⁹ Den Canalis incisivus kann man nach der Anzahl der Kanäle einteilen und zusätzlich lassen sich noch die Ausrichtung des Kanals und die Kanalform klassifizieren. Die Form des Canalis incisivus kann trichterförmig, zylindrisch, sanduhrförmig sein oder die Form einer Banane aufweisen.^{19, 51, 75, 82} Thakur et al. haben in ihrer Studie deutlich dargestellt, wie stark der Canalis incisivus hinsichtlich seiner Morphologie variiert (Abb. 6).⁸² Fernandez-Alonso et al. beschreiben in ihrer Studie, dass der am häufigsten beobachtete Kanal zylindrisch ist (48,2%), gefolgt von dem sanduhrförmigen (30,8%) und trichterförmigen (20,6%) Kanal. Die bananenähnliche Form wurde nur selten festgestellt (0,4%).¹⁹ Sekerci et al. haben jedoch eine größere Anzahl (19,6%) von Kanälen mit einer bananen-ähnlichen Form beschrieben.⁷⁵

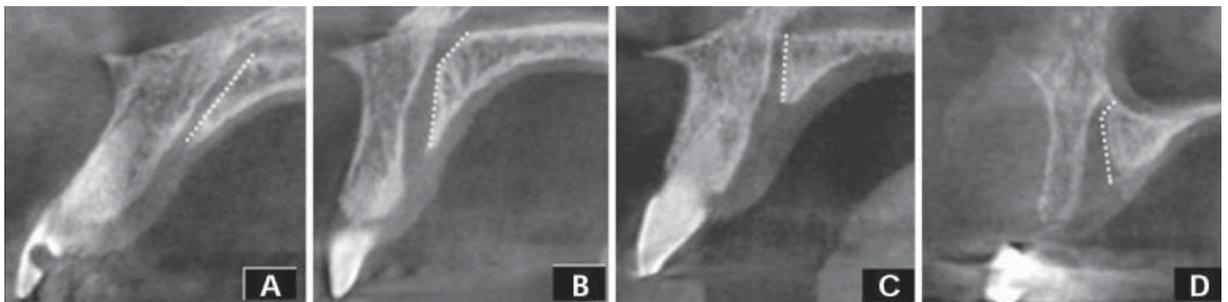


Abb. 6: Klassifizierung des Canalis incisivus in der Sagittalansicht: Geneigt (A), vertikal-gebogen (B), vertikal-gerade (C), geneigt-gebogen (D).⁸² Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Imaging Science of Dentistry Verlag.

2. Literaturübersicht

Der Canalis incisivus kann darüberhinaus bezüglich seiner Verlaufsrichtung klassifiziert werden.⁷⁹ Er verläuft weitestgehend schräg von naso-posterior nach palato-anterior, um sich mit dem Kanal der Gegenseite zu einer gemeinsamen Öffnung, dem Foramen incisivum, zu vereinen.^{1, 38, 65} Der Verlauf des Kanals kann geneigt, vertikal-gebogen, vertikal-gerade oder geneigt-gebogen sein (Abb. 6 und 7).^{79, 82} Der häufigste Kanalverlauf ist der vertikal-gerade Typ mit einer Inzidenz von 46,4%.⁷⁹ Fernandez-Alonso et al. hingegen belegen mit ihrer Studie, dass am häufigsten der geneigt-gerade (57,6%) Kanalverlauf vorkommt, gefolgt von den Typen vertikal-gerade (23,7%), vertikal-gebogen (10,3%) und geneigt-gebogen (8,5%).¹⁹

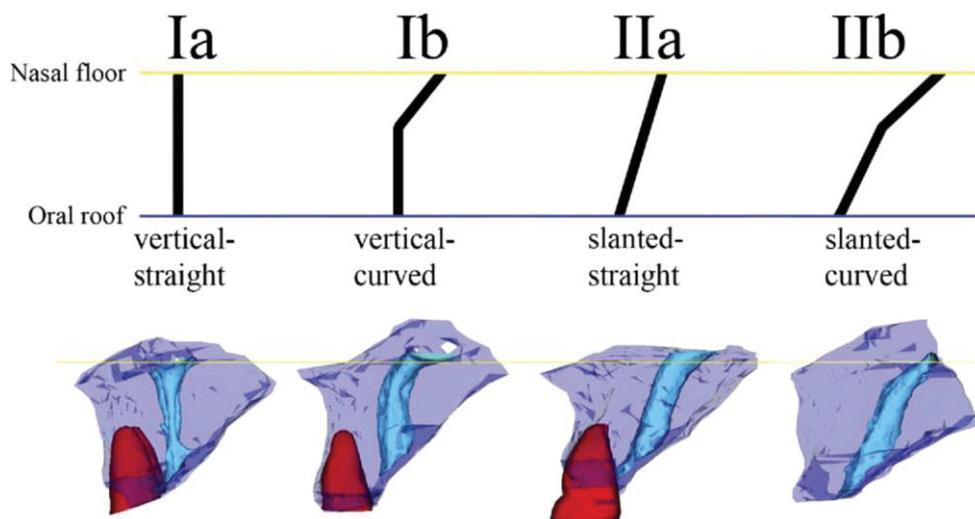


Abb. 7: Schematische und dreidimensionale Darstellung des Kanalverlaufes und der Ausrichtung des Canalis incisivus.⁷⁹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

Hinsichtlich der Anzahl der Kanäle haben Sekerci et al. in ihrer Studie gezeigt, dass in 226 Fällen nur ein Canalis incisivus vorkommt und in 36 Fällen zwei separate Kanäle.⁷⁵ Song et al. konnten zeigen, dass der Canalis incisivus ein-, zwei-, drei- aber auch vierkanalig sein kann (Abb. 8).⁷⁹ Die Länge des Canalis incisivus wird zwischen 9,9 mm⁴³ und 12,34 mm¹⁹ beziffert. Die Untersuchungen

2. Literaturübersicht

von Tözüm et al. und Song et al. haben zusätzlich ergeben, dass der Canalis incisivus im zahnlosen Oberkiefer verkürzt ist.^{79, 83}

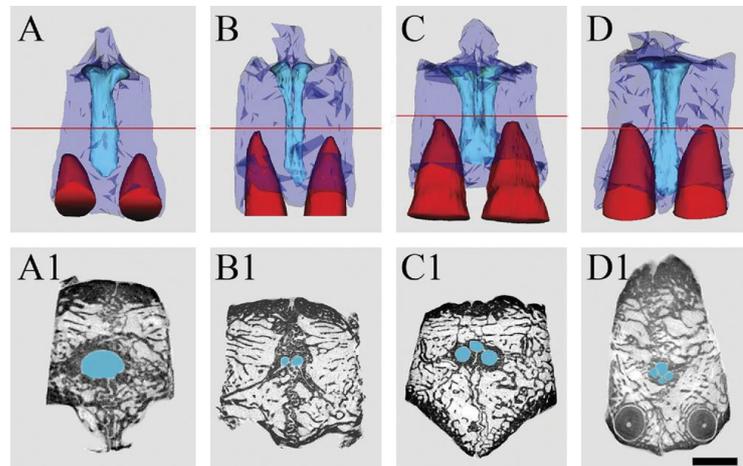


Abb. 8: Klassifikation des Canalis incisivus hinsichtlich der Anzahl der Kanäle. A-D, anteriore Ansicht des rekonstruierten Canalis incisivus. A1-D1, Querschnittsaufnahmen. Ein Kanal (A, A1), zwei Kanäle (B, B1), drei Kanäle (C, C1), vier Kanäle (D, D1).⁷⁹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

2.2.4 Histologie des Canalis incisivus

Bei Betrachtung der histologischen Struktur wird deutlich, dass das histologische Muster vielgestaltig ist. Song et al. haben in ihrer Studie gezeigt, dass das histologische Bild des Canalis incisivus Nervengewebe und Blutgefäße aufweist (Abb. 9). Die Nervenfilamente des N. nasopalatinus sind im zentralen Bereich des Kanals lokalisiert und stehen nicht im Zusammenhang mit der Anzahl der Kanäle. Auch die Anzahl der zahlreichen Venen ist nicht abhängig von der Kanalanzahl. Demgegenüber ist anzunehmen, dass das Vorkommen von Arterien im Canalis incisivus mit der Anzahl der Kanäle korreliert.⁷⁹

2. Literaturübersicht

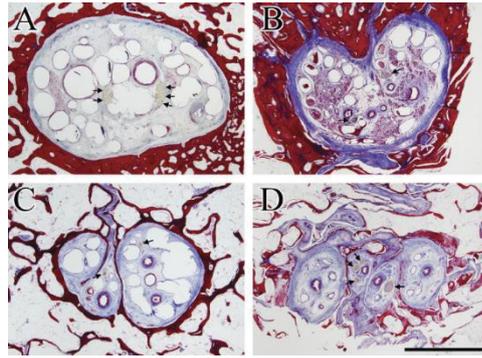


Abb. 9: Histologie des Canalis incisivus: Ein Kanal (A), inkomplette zwei Kanäle (B), drei Kanäle (C) und vier Kanäle (D). N. nasopalatinus (→).⁷⁹ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Elsevier Verlag.

2.2.5 Akzessorische Kanäle

Jacobs et al. und Song et al. konnten in ihren Studien zwei zusätzliche kleine Kanäle beobachten, die sogenannten Foramina Scarpae, welche durch den N. nasopalatinus verlaufen.^{29, 79} Auch Oliveira-Santos et al. untersuchten mit Hilfe von DVT-Aufnahmen, ob im anterioren Gaumen akzessorische Kanäle und Foramina beobachtet werden konnten. Die Untersuchungen ergaben, dass sechs von 178 DVT-Aufnahmen zwei akzessorische Kanäle aufwiesen (Abb. 10), die im Durchschnitt einen Durchmesser von 1,4 mm hatten.¹⁶

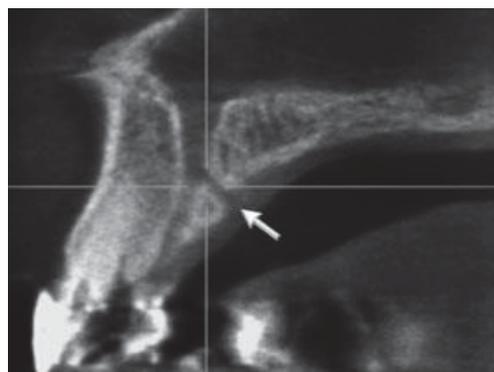


Abb. 10: Die Sagittalansicht einer DVT-Aufnahme zeigt einen akzessorischen Kanal posterior vom Foramen incisivum mit einer Verbindung zum Canalis incisivus.¹⁶ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom John Wiley and Sons Verlag.

2. Literaturübersicht

Von Arx et al. zeigten ebenfalls in ihrer Studie, dass neben dem Canalis incisivus noch zusätzliche kleine Canaliculi und Foramina existieren, aus denen kleine Nervenendigungen mit Gefäßen herausgehen.^{16, 87} Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen zeigen, dass sich diese akzessorischen Kanäle vermehrt bei älteren als bei jüngeren Patienten beobachten lassen. Sie wurden gehäuft palatinal der mittleren Schneidezähne festgestellt.⁸⁷ Die Untersuchungen von Sekerci et al. ergaben hingegen, dass die akzessorischen Kanäle meist palatinal der lateralen Schneidezähne lokalisiert waren und dass Mädchen (29,5%) mehr zusätzliche Kanälchen in der anterioren Maxilla aufwiesen als Jungen (15,7%).⁷⁶

2.3 Verletzung des N. nasopalatinus

Im Zuge von zahnärztlichen Behandlungen kann es zur Verletzung des N. nasopalatinus kommen³⁶, daher sollten unter anderem vor der Implantatchirurgie die anatomischen Gegebenheiten, wie zum Beispiel der Canalis incisivus, genau beachtet werden.^{43, 63} Die Studienergebnisse von Rettinger et al. belegen, dass temporäre Gefühlsstörungen am Gaumen nach einem Eingriff an der Nasenscheidewand, auf Läsionen des N. nasopalatinus zurückzuführen sind. Sie geben an, dass die Patienten oft nur von temporären Gefühlsstörungen und dem Ausbleiben einer dauerhaften Sensibilitätsstörung des Gaumens berichten. Rettinger et al. erklären diese Tatsache dadurch, dass der Gaumenbereich überlappend innerviert wird und dass sich die Innervationsgebiete von Nn. palatini und N. incisivus weitgehend überdecken.⁶⁵ In der Literatur finden sich Angaben, dass traumatische oder iatrogene Verletzungen des N. nasopalatinus zu Hypästhesie, Parästhesie oder Schmerzen führen können.⁸ Freitag et al. wiederum berichten, dass es nach der Läsion des N. nasopalatinus während des Essens zu einem Ausfluss aus der Nase kommt.²⁰ Diese Symptomatik wird mit einer regenerativen Fehlinnervation nach Läsion des N. nasopalatinus erklärt, mit der Folge, dass statt der Drüsen der Gaumenschleimhaut die Drüsen der Nasenhöhle stimuliert werden.^{20, 23, 67} Nach Schlegel et al. deuten Schmerzen oder Blutungen auf eine Penetration des Canalis incisivus. Sie berichten, dass der Kontakt mit

2. Literaturübersicht

Nervengewebe innerhalb des Canalis incisivus zu einer möglichen Non-Osseointegration des Implantates oder zu sensorischen Dysfunktionen führen kann.^{36, 70}

2.4 Mini-Implantate

Heutzutage sind Mini-Implantate im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung eine etablierte Methode für eine skelettale Verankerung. Kanomi et al. berichteten 1997 von einem Mini-Implantat, welches im Durchmesser deutlich reduziert ist. Die Größe wurde mit 1,2 mm x 6 mm angegeben.³¹ Costa et. al beschrieben ein Mini-Implantat mit einem reduzierten Durchmesser, welcher einen Schraubenkopf mit bracket-ähnlichem Design aufweist.¹³ Seitdem haben Mini-Implantate in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen, da sie eine einfache Insertions- und Explantationstechnik bieten, relativ kostengünstig und hinsichtlich der Insertionsgebiete vielseitig sind.^{31, 81, 89, 94} Das Indikationsspektrum der skelettalen Verankerung mittels Mini-Implantaten reicht von der Distalisation und Mesialisation von Zähnen über die transversale Erweiterung des Kiefers bis hin zur Intrusion und Extrusion von Zähnen.^{48, 89} Nienkemper et al. geben an, dass durch Mini-Implantate im Gaumen mehrere Behandlungsaufgaben sowohl konsekutiv als auch simultan gelöst werden können.⁵⁹ Die Mini-Implantate unterscheiden sich je nach Implantatsystem unter anderem in der Länge, dem Durchmesser, dem Gewindedesign, der Ausführung des Schraubenkopfes und der Oberflächenbeschaffenheit.⁴⁹

2.4.1 Insertionsorte für Mini-Implantate

Mini-Implantate können unter anderem interradiikulär, am maxillären Tuber, im retromolaren Bereich des Unterkiefers sowie im Gaumen inseriert werden. Die Verlustrate von interradiikulär inserierten Mini-Implantaten wird als sehr hoch eingeschätzt.⁶⁹ In der Literatur wird angegeben, dass sich der Kontakt bzw. die enge topographische Lagebeziehung zu benachbarten Zahnwurzeln als ungünstig er-

2. Literaturübersicht

weist.¹⁰ Der Einsatz von Mini-Implantaten setzt eine ausreichende Primärstabilität voraus, um die Verlustrate zu reduzieren. Wilmes et al. berichten, dass das Implantatdesign, die Insertionsmodalitäten und die Qualität des Knochens Einfluss auf die Primärstabilität eines Mini-Implantates haben.⁹³ Da der anteriore Gaumen ein ausreichendes Knochenangebot, eine gute Knochenqualität sowie eine feste Gingiva aufweist, bietet sich diese Region als eine gute Insertionsregion an.^{33, 81} Triaca et al. haben im Jahre 1992 den anterioren Gaumen erstmals als Insertionsregion für ein osseointegriertes Implantat beschrieben. Zudem haben sie seinerzeit ein sogenanntes Titanflachschauben-Implantat vorgestellt.⁸⁴ Das Titanflachschauben-Implantat gehört zu den palatinalen Verankerungssystemen. Ein weiteres palatinales Verankerungssystem, das Onplant™-System (Nobel Biocare, Schweden), wurde im Jahre 1995 von Block und Hoffmann entwickelt.⁶⁸ Ebenso haben Glatzmaier et al. das BIOS-Implantatsystem (BIOS: bioresorbable implant anchor for orthodontics system) vorgestellt.^{12, 21} Mit dem Orthosystem® (Institut Straumann AG, Waldenburg) wurde im Jahre 1996 ein weiteres palatinales Verankerungssystem eingeführt. Es ist positionsstabil und bietet sich beispielsweise für die Anwendung eines implantatgestützten Transpalatinalbogens an.^{11, 88}

Die Autoren Lee et al. und Nienkemper et al. empfehlen in den anterioren Gaumen zu inserieren.^{40, 59} Das Mini-implantat wird im anterioren Gaumen je nach Indikation median oder paramedian inseriert.^{58, 70, 91, 94} Einige Autoren empfehlen eine mediane Insertion von Mini-Implantaten⁹⁰ und andere hingegen bevorzugen die paramediane Insertion.⁵⁰ Asscherickx et al. präferieren bei Jugendlichen eine paramediane Insertion eines Mini-Implantates, weil sie davon ausgehen, dass eine mediane Insertion zu Wachstumsstörungen führen könnte.² Nienkemper et al. zeigten in ihrer Übersichtsarbeit, dass paramedian inserierte Mini-Implantate eine höhere Stabilität aufweisen als median inserierte Mini-Implantate.⁵⁷ Schlegel et al. berichten an, dass die Sutura palatina mediana anterior meist weniger ossifiziert ist als der posteriore Anteil, somit vermuten sie, dass eine weiter posteriore Position von median inserierten Mini-Implantaten besser geeignet ist.⁷⁰

2. Literaturübersicht

2.4.2 Erfolgsraten von Mini-Implantaten

Durch die Vielseitigkeit der Mini-Implantate wird den Patienten im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung eine Vielzahl neuer Behandlungsoptionen geboten.^{91, 92} Eine Anwendungskomplikation bei dieser Art von Verankerungsmethode ist die Lockerung der Mini-Implantate als Folge einer Entzündung der periimplantären Region aufgrund mangelnder Pflege.⁸⁵ Zahlreiche Studien haben sich bereits mit den Verlustraten von Mini-Implantaten befasst.^{6, 9, 60, 69, 81} Schätzle et al. geben eine durchschnittliche Verlustrate von 16,4% an.⁶⁹ Die Untersuchungen von Baumgärtel et al. ergaben, dass palatinal inserierte Mini-Implantate bessere Erfolgsraten aufzeigen als bukkal inserierte.⁴ Andere Autoren konnten mit ihren Studien zeigen, dass die Erfolgsrate bei einer bukkalen Insertion in die Maxilla zwischen 85,7%⁹ und 95%⁸⁵ liegt. Rodriguez et al. halten fest, dass die Erfolgsrate von dem Insertionsort abhängt und im Bereich des Gaumens sehr hoch ist.⁶⁶ Lee et al. fanden in ihrer Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Erfolgsrate und dem Alter der Patienten. Sie berichten, dass ein höheres Alter ein entscheidender Faktor für die Erfolgsrate ist.⁴¹ Nienkemper et al. untersuchten die Stabilität von Mini-Implantaten. Sie konnten zeigen, dass lange Mini-Implantate für eine hohe Stabilität sorgen, wenn sie im Bereich der Sutura palatina mediana inseriert werden.⁵⁸ Chen et al. kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass längere Mini-Implantate eine höhere Erfolgsrate aufweisen.⁹ Nienkemper et al. berichten, dass die Verlustrate durch Berücksichtigung der beeinflussenden Faktoren reduziert werden kann.⁵⁹

2. Literaturübersicht

2.5 Digitale Volumentomographie

2.5.1 Technische Parameter

Die Digitale Volumentomographie (DVT) wurde 1998 mit dem NewTom QR-DVT 9000 (Verona, Italien) als ein neues dreidimensionales Röntgenverfahren in die Zahnmedizin eingeführt.⁵⁴ Dabei handelt es sich technisch gesehen um eine Modifikation der Computertomographie (CT). Im Vergleich zur CT wird bei der DVT ein kegel- oder konusförmiges Strahlenbündel verwendet (Abb. 11). Gegenüber der Röntgenröhre befindet sich ein zweidimensionaler Röntgendetektor. Die Röntgenröhre und der Röntgendetektor drehen sich einmal um den Patienten. Dabei werden Hunderte bis Tausend einzelne Projektionen erzeugt.

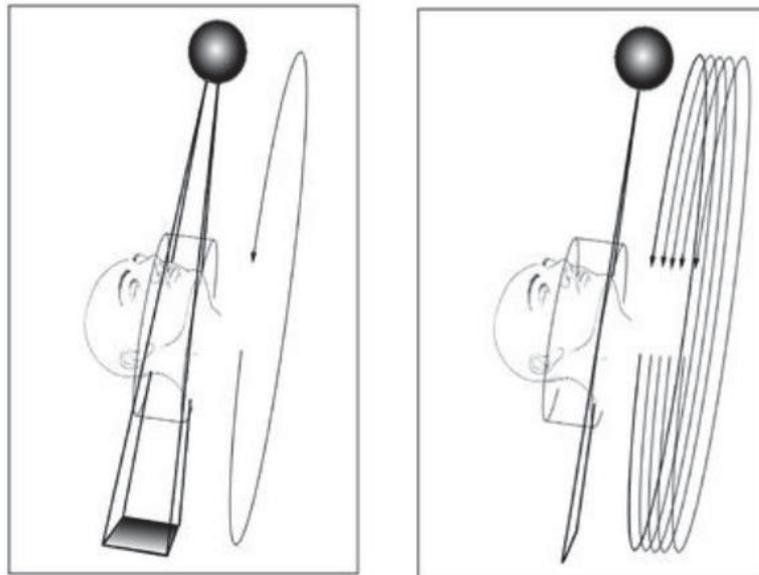


Abb. 11: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips der DVT (links) im Vergleich zur CT (rechts).⁵ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Quintessenz Verlag.

Aus den dadurch erhaltenen Einzelprojektionsaufnahmen erzeugt die Software mit Hilfe einer gefilterten Rückprojektion einen Volumendatensatz. Durch Stapelung der einzelnen Schnittbilder und somit der Rekonstruktion der einzelnen Bild-daten wird sekundär der dreidimensionale und überlagerungsfreie Datensatz berechnet und erstellt (Abb. 12).

2. Literaturübersicht

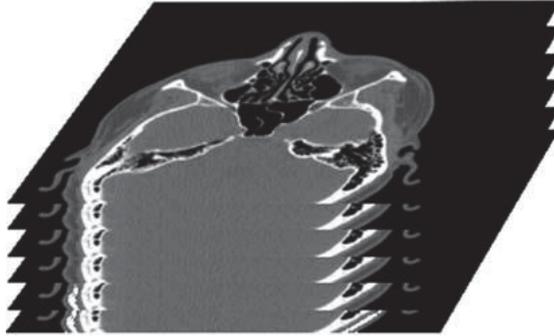


Abb. 12: Dreidimensionaler Datensatz durch Stapelung der zweidimensionalen Aufnahmen.⁷⁴ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Thieme Verlag.

Das Grundelement des fertig rekonstruierten Volumendatensatzes besteht aus würfelförmigen, kleinsten Einheiten, den sogenannten *Voxeln* (*Volume Elements*). Jedes Voxel hat einen spezifischen Grauwert, welches idealerweise der Röntgenabsorption des exponierten Objektes entspricht (Abb. 13). Der Volumendatensatz kann in allen Raumrichtungen virtuell zerlegt werden und somit in den typischen Körperhauptebenen dargestellt werden.

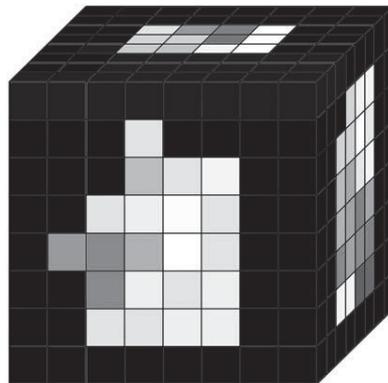


Abb. 13: Der Volumendatensatz bestehend aus mehreren würfelförmigen Voxeln.⁷⁴ Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Thieme Verlag.

Durch den kegelförmigen Strahl erhält man je nach Gerätetyp einen zylindrischen oder sphärischen anatomischen Ausschnitt, welcher als Sichtfeld bzw. *Field of*

2. Literaturübersicht

View (FOV) bezeichnet wird (Abb. 14).^{71, 73, 74} Aus geometrischen und technischen Gründen gilt für das FOV, dass je größer das FOV ist, desto geringer in der Regel die Ortsauflösung ist und je niedriger die Ortsauflösung desto kleiner das Risiko der Bewegungsunschärfe ist.⁷² Der zu untersuchende Bereich, die so genannte *Region of interest* (ROI), sollte akkurat bei einem möglichst kleinen FOV positioniert werden, so dass eine genaue Erfassung des ROI sichergestellt ist.⁶⁴

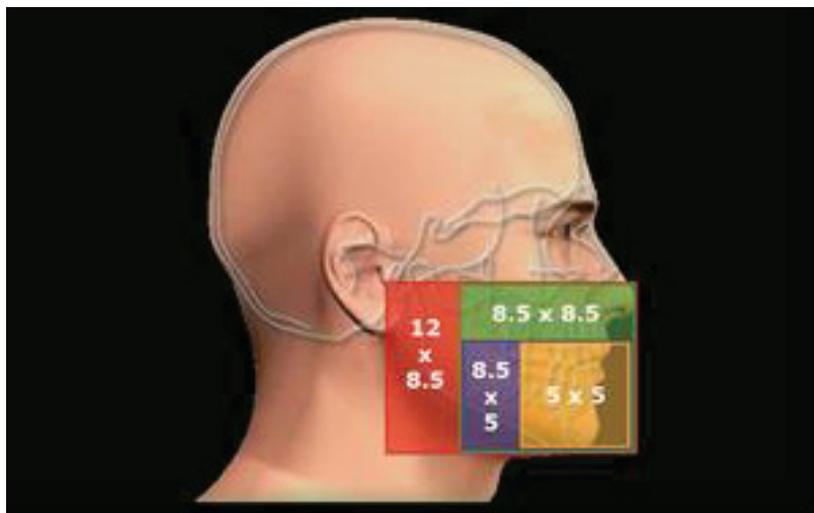


Abb. 14: Field of View bei einem PaXDuo 3D- Volumentomograph. Abbildung mit freundlicher Genehmigung von orangedental GmbH & Co. KG.

Sowohl bei der CT als auch bei der DVT ist nicht nur eine Bildgebung in mehreren Schichten möglich, sondern auch eine dreidimensionale Rekonstruktion des gesamten Gesichtsschädels.⁵⁵ Als Vorteil ist zu nennen, dass das DVT im Gegensatz zum klassischen CT vom zahnärztlichen Behandler selbst durchgeführt und befundet werden kann.²⁶ Ein weiterer Vorteil gegenüber einer CT sind die niedrigeren Anschaffungskosten für den Behandler sowie die geringere Strahlenbelastung für den Patienten.²⁵ Mozzo et al. und Ludlow et al. haben die Strahlenbelastung von einer DVT-Aufnahme mit der von einer CT verglichen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Strahlenbelastung bei der DVT signifikant geringer ist als bei der CT.^{45, 54} Ludlow et al. untersuchten auch die Strahlenbelastung eines DVT

2. Literaturübersicht

mit der eines Orthopantomogramms (OPG). Sie beschreiben in ihrer Arbeit, dass DVT-Aufnahmen höhere effektive Dosen als einzelne digitale Panoramaschichtaufnahmen aufweisen.⁴⁵ Im Hinblick auf die Darstellung feiner Strukturen im Bereich der Zahnwurzeln und den umgebenden, knöchernen Strukturen, zeigt sich beim CT eine bessere Darstellungsqualität als beim DVT.²⁶ Ludlow et al. untersuchten in einer Metaanalyse die effektive Dosis bei unterschiedlichen DVT-Geräten. Die Auswertungen der Studien ergab, dass große FOV bei Erwachsenen effektive Dosen von 46 μSv bis 1073 μSv (Mikrosievert), mittlere FOV von 9 μSv bis 560 μSv und kleine FOV von 5 μSv bis 652 μSv produzieren. Für Kinder liegen die ermittelten Werte nur unwesentlich unter den effektiven Dosen von Erwachsenen. Die effektiven Dosen werden bei Kindern bei großen oder mittleren FOV mit 13 μSv bis 769 μSv und bei kleinen FOV mit 7 μSv bis 521 μSv angegeben. Die durchschnittlichen effektiven Dosen über alle untersuchten DVT-Geräte werden bei Erwachsenen mit 212 μSv (großes FOV), 177 μSv (mittleres FOV) und 84 μSv (kleines FOV) beziffert. Die Durchschnittswerte liegen bei Kindern bei 175 μSv (großes und mittleres FOV) bzw. 103 μSv (kleines FOV).⁴⁶ In den letzten Jahren hat das *Low-Dose-DVT* (dosisreduziertes DVT-Gerät) zunehmend Verbreitung gefunden.²⁸ Qu et al. beschreiben in ihrer Studie, dass die effektive Dosis reduziert werden kann. Dabei geben sie an, dass bei dem ProMax 3D-Volumentomograph (Planmeca, Finnland) das kleinste FOV von 50 mm x 40 mm eingestellt werden kann, um die effektive Dosis zu reduzieren. Des Weiteren empfehlen sie an dem ProMax 3D-Volumentomograph die *Low dose*-Einstellung vorzunehmen. Somit konnten sie in ihrer Studie zeigen, dass die effektive Dosis im Vergleich zu einer normalen Auflösung um bis zu 10% reduziert werden kann.⁶⁴ Landin et al. konnten in ihrer Vergleichsstudie zeigen, dass das *Small-Volume-DVT* (dosisreduziertes DVT-Gerät) mit reduzierter Strahlendosis sowie hoher Auflösung für die präoperative Diagnostik bei der Insertion von Mini-Implantaten geeignet ist. Im Vergleich zum Orthopantomogramm, sowie konventionellen Zahnfilmaufnahmen verzeichnete das *Small-Volume-DVT* (Kodak-9000, Kodak Dental Systems, New York) mit einem FOV von 50 mm x 38 mm sowie einer Voxelgröße von 0,076 mm weniger Wurzelforationen bei der Insertion von Mini-Implantaten.³⁷ Costa et al. haben sich in ihrer Studie ebenfalls mit dem

Small-Volume-DVT befasst. Sie untersuchten dessen Präzision bei dem Nachweis von horizontalen Wurzelfrakturen. In ihrer Studie wählten sie eine Voxelgröße von 0,2 mm und ein FOV von 50 mm x 50 mm. Die zu untersuchende Region positionierten sie anschließend im Mittelpunkt des FOV. Die Ergebnisse ihrer Studie bestätigten die hohe Präzision des *Small-Volume-DVT* (PaX Uni3D, Korea).¹⁴

2.5.2 Indikationen

Das Indikationsspektrum der digitalen Volumentomographie umfasst bei kieferorthopädischen Behandlungen die Diagnostik von Anomalien des Zahnbestandes und der Zahnwurzeln sowie die Diagnostik craniofazialer Fehlbildungen. Weitere Indikationen sind die Darstellung des Knochenangebots im Hinblick auf die Durchführung kieferorthopädischer Zahnbewegungen und differentialdiagnostische Bewertungen von Zahndurchbruchsstörungen.⁷¹ Die digitale Volumentomographie kann auch bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten (LKG) und bei komplexen kieferorthopädischen Fragestellungen Anwendung finden.^{35, 55} Korbmacher et al. empfehlen vor einer geplanten Osteoplastik bei Patienten mit LKG-Spalten eine DVT-Aufnahme anzufertigen, um das Knochenangebot in der Spalte sowie die Lagebeziehung spaltnaher Zähne zu beurteilen. Eine weitere Indikation ist die genaue Positionierung von verlagerten Zähnen und deren Wurzeln im Zusammenhang mit Nachbarstrukturen.³⁵ Holberg et al. geben zudem als eine weitere Indikation für den Einsatz von DVT die Visualisierung von Dysgnathien an.²⁶

3. Ziele

3. Ziele

Bei der medianen Insertion von Mini-Implantaten im anterioren Gaumen besteht das Risiko einer Penetration des Canalis incisivus. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der vorliegenden Studie zu ermitteln, wie hoch die Wahrscheinlichkeit einer Penetration des Canalis incisivus in Abhängigkeit von Insertionsort und -winkel, Anzahl der Kanäle, morphologischen Variationen des Kanals, sowie dem Alter der Patienten ist. Des Weiteren stellt sich die Frage, welche klinischen Schlussfolgerungen daraus gezogen werden können, wenn der Canalis incisivus und der N. nasopalatinus, welcher darin verläuft, tangential getroffen oder penetriert werden. Diese Studie untersucht zudem die unterschiedliche Morphologie des Canalis incisivus sowie die sichere Position und Angulation bei der Insertion eines Mini-Implantates im anterioren Gaumen.

4. Material und Methode

Bei DVT-Aufnahmen des Oberkiefers von 50 Patienten, welche aufgrund von einer anderen rechtfertigenden Indikation in der Westdeutschen Kieferklinik in Düsseldorf angefertigt wurden, erfolgte nach manueller Segmentierung eine dreidimensionale und farbliche Darstellung des Canalis incisivus. Zuvor wurden die Patienten in drei Gruppen eingeteilt (Gruppe 1: Patienten <18. Lebensjahr, Gruppe 2: Patienten vom 18.-50. Lebensjahr, Gruppe 3: Patienten >50. Lebensjahr). Das Patientengut umfasste 6 Jugendliche und 44 Erwachsene. An fünf medianen Positionen des anterioren Gaumens wurde eine virtuelle Insertion in je vier Eintrittswinkeln relativ zur Okklusionsebene vorgenommen und festgestellt, ob eine Tangentialberührung oder Penetration der knöchernen Wand des Canalis incisivus stattfand.

Das Studiendesign (Studiennummer: 2018-333) wurde von der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf geprüft und genehmigt.

4. Material und Methode

4.1 Datenverarbeitung

Die ermittelten Messwerte wurden in einer Excel-Tabelle (MS Excel, Microsoft) festgehalten und die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 22.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*).

4.2 Methodisches Vorgehen

Die ausgewählten DVT-Datensätze wurden zuvor wegen einer anderen rechtfertigenden Indikation angefertigt. Die DVT-Aufnahmen erfolgten zum Zeitpunkt der Indikation am PaXDuo3D-Volumentomograph (Vatech, Korea) (Abb. 15). Bei der Auswahl der Datensätze wurden Aufnahmen mit einem ausreichenden Field of View von 85 mm x 85 mm berücksichtigt und die Auflösung betrug 0,1 mm (Tabelle 1).

Tabelle 1: Technische Daten vom PaXDuo 3D-Volumentomograph.

Field of View (in mm)	50x50; 85x50; 85x85; 85x120
Expositionszeit	15 Sekunden/24 Sekunden
Voxelgröße	Hochauflösend
Röhrenspannung (in kV)	60-90
Stromstärke (in mA)	2-10
Bilddetektor	Flächendetektor
Bilderfassung	Einzelrotation um 360°

mm = Millimeter, kV = Kilovolt, mA = Milliampere



Abb. 15: PaXDuo 3D-Volumentomograph. Abbildung mit freundlicher Genehmigung von orangedental GmbH & Co. KG.

4. Material und Methode

Des Weiteren wurde bei der Auswahl der Datensätze berücksichtigt, dass der Oberkiefer vollbezahnt war und eine möglichst geringe Anzahl an metallischen Zahnrestorationen aufwies, die gegebenenfalls zu Qualitätseinbußen vornehmlich durch Metallartefakte geführt hätten. Auf die vollständige Darstellung des Canalis incisivus wurde besonders viel Wert gelegt.

4.3 VoXim® osteo

Die Software VoXim® osteo (IVS Technology GmbH, Chemnitz) wurde speziell für die Visualisierung der Patientenanatomie, sowie für Planungen entwickelt. Für die vorliegende Studie wurde die Version 6.5 verwendet.

The screenshot displays the DICOM-Transfer software interface. On the left, a tree view shows 'Patienten und Studien (425)' with a sub-entry '1.1 (424)' containing '3D [CT] (424)'. A callout box labeled 'Datensatz erstellen' points to this entry. Below it, another callout box labeled 'Anzahl der Schichtbilder: 424' points to the same entry. The main window shows a table of image slices with columns: Nr., Orient., Pixelgröße, Auflösung, Mod., Gantry, X-Pos., Y-Pos., Z-Pos., and Protokoll. The table lists 23 slices (Nr. 201-223) with various parameters. A status bar at the bottom indicates '424 von 424 Bildern ausgewählt'. On the right, an 'Auswahlstatus' panel shows settings for 'Auswahlstatus: Erstellung mit 424 Bildern möglich', 'Doppelte Positionen: Keine', 'Arbeitsspeicherbedarf: OK (437.00 MB)', 'Bildabstand: Gleichmäßig bzw. konstant (0.200)', 'Auflösung: Standard', and 'Manuelle Konfiguration: Kleinsten bzw. häufigsten Abstand (0.200) benutzen'. At the bottom left, a 3D reconstruction of a maxilla is shown with a color-coded cross-section and a 'Vorgabe' dropdown menu.

Nr.	Orient.	Pixelgröße	Auflösung	Mod.	Gantry	X-Pos.	Y-Pos.	Z-Pos.	Protokoll
201	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	44.80	
202	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	44.60	
203	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	44.40	
204	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	44.20	
205	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	44.00	
206	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	43.80	
207	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	43.60	
208	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	43.40	
209	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	43.20	
210	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	43.00	
211	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	42.80	
212	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	42.60	
213	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	42.40	
214	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	42.20	
215	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	42.00	
216	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	41.80	
217	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	41.60	
218	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	41.40	
219	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	41.20	
220	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	41.00	
221	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	40.80	
222	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	40.60	
223	L\A/P	0.20 x 0.20	600 x 600	CT	0.00	0.00	0.00	40.40	

Abb. 16: Screenshot: DICOM-Transfer, Anzahl und Liste der Schichtbilder für einen Beispielpatienten.

4. Material und Methode

Mit Hilfe der Software VoXim® osteo erfolgte das Einlesen der Bilddaten der Patienten in die VoXim®-Datenbank. Hierbei wurden die auf dem Datenträger befindlichen DICOM-Daten (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) in die VoXim®-Datenbank transferiert. Nach dem Transfer der DICOM-Daten in die Datenbank wurden die Patientendaten manuell anonymisiert. Anschließend wurden alle Schichtbilder des Patienten geladen und die Anzahl der Schichtbilder aufgelistet (Abb. 16 und 17). Anhand dieser Schichtbilder wurden in einem späteren Arbeitsschritt die 3D-Datensätze erstellt.

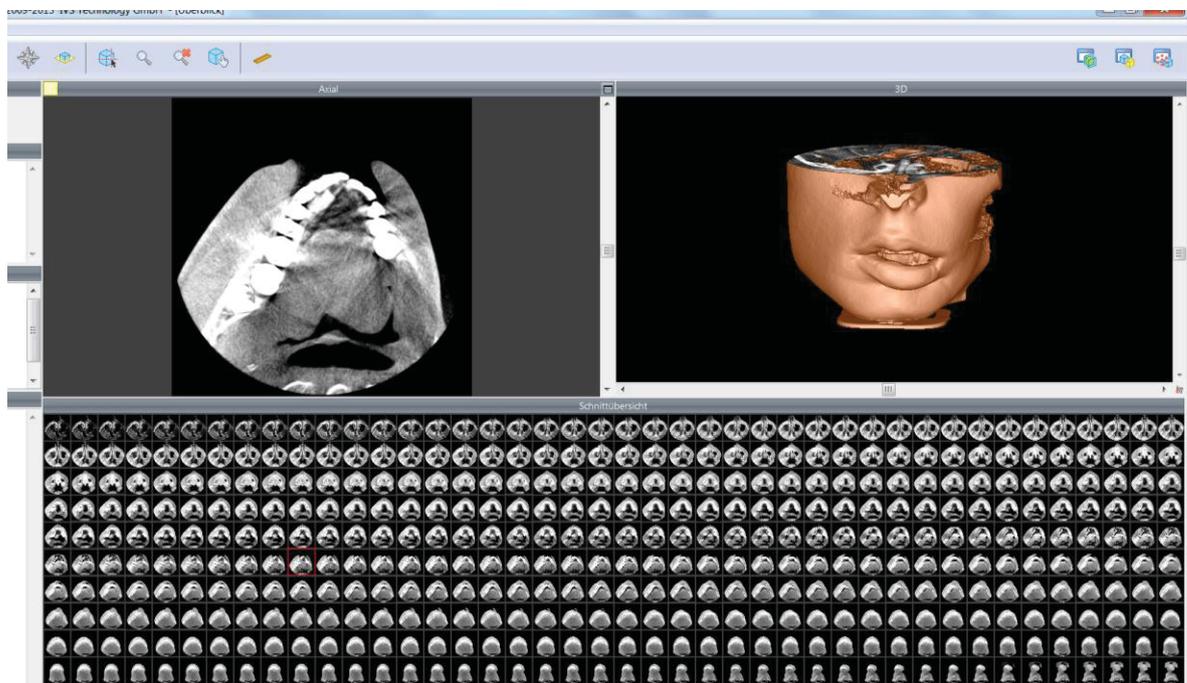


Abb. 17: Screenshot: Übersicht aller Schichtbilder.

4.3.1 Segmentierung

In der medizinischen Bildverarbeitung wird häufig der Begriff „Segmentierung“ verwendet. Dabei werden Bildelemente in zusammenhängenden Regionen unterteilt. Die Segmentierung dient zum Hervorheben und Darstellen von relevanten und irrelevanten Regionen. Der Vorgang des Segmentierens ist die Voraus-

4. Material und Methode

setzung für das Rekonstruieren von dreidimensionalen morphologischen Strukturen. Eine Segmentierung kann sowohl in einer drei- als auch zweidimensionalen Ansicht durchgeführt werden. Man unterscheidet unter anderem das semi-automatische und das manuelle Segmentierungsverfahren. In dieser Studie wurde für das Segmentieren der Gesichtshaut (hautfarben), des Gesichtsschädels (blau) und des Oberkiefers (grau) das semi-automatische Segmentierungsverfahren und für das Segmentieren des Canalis incisivus (pink) und der Gaumenschleimhaut (grün) eine manuelle Segmentierung vorgenommen. Für eine bessere Übersicht wurden die relevanten Objekte farblich markiert. Die farbliche Segmentierung des Canalis incisivus (pink) und der Gaumenschleimhaut (grün) erfolgte in der zweidimensionalen Sagittalansicht (Abb. 18 und 19).

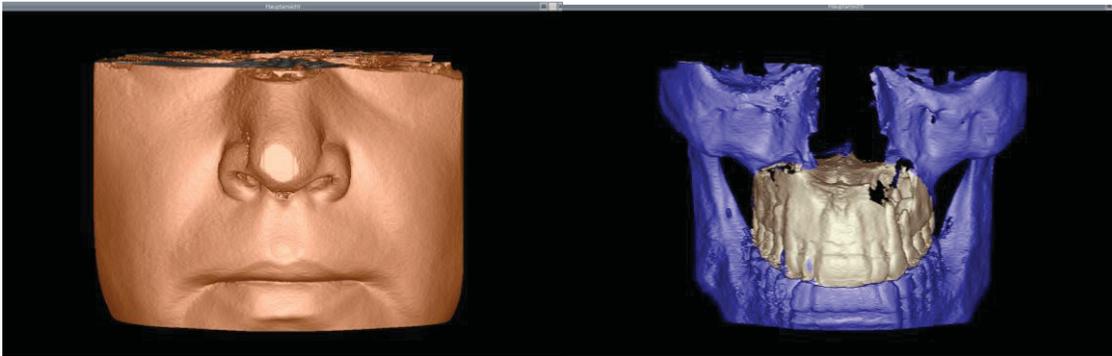


Abb. 18: Screenshot: Farbliche Segmentierung der Gesichtshaut (links) und des Gesichtsschädels (rechts).

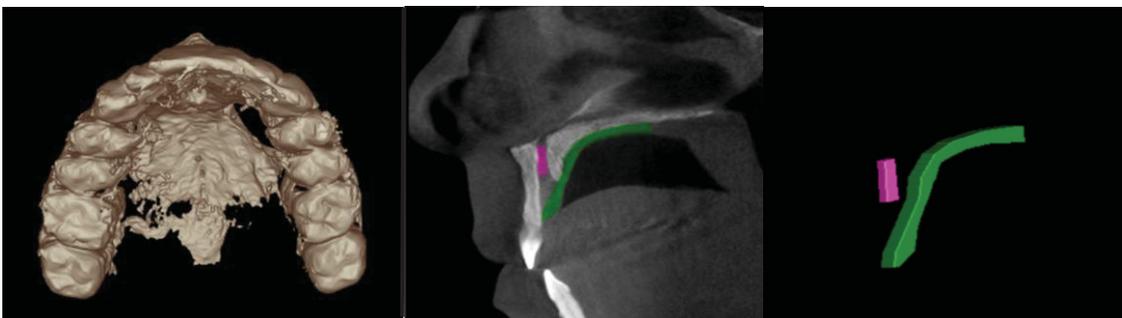


Abb. 19: Screenshot: Farbliche Segmentierung des Oberkiefers (links, grau), der Gaumenschleimhaut (mitte und rechts, grün) und des Canalis incisivus (mitte und rechts, pink).

4. Material und Methode

4.3.2 Arbeitsschritte der semi-automatischen Segmentierung

Die semi-automatische Segmentierung basiert auf das Schwellwertverfahren und wird eingesetzt, wenn die zu segmentierenden anatomischen Regionen gut voneinander abzugrenzen sind. Als Grundlage dient die erste Segmentierung. Im Modul „Arbeitsfenster“ wurden mit dem Schwellwertregler der obere und untere Schwellwert eingestellt und somit konnte die dreidimensionale Rekonstruktion zum Beispiel von der Gesichtshaut dargestellt werden. Diese erste Segmentierung dient meist als Ausgangspunkt für weitere Segmentierungen. Anschließend konnten durch das Verschieben des Reglers der Gesichtsschädel und der Oberkiefer segmentiert und dreidimensional abgebildet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde jedem segmentierten Objekt eine Farbe zugeordnet (Abb. 18 und 19).

4.3.3 Arbeitsschritte der manuellen Segmentierung

In dem Modul „Arbeitsfenster“ wurde zunächst die zweidimensionale sagittale Ansicht eingeblendet. Anschließend wurde mit dem Grauwertregler eine Einstellung vorgenommen, die den Canalis incisivus gut erkennen ließ. Dieses Bedienelement ist in den meisten Modulen und Dialogen wiederzufinden. Es dient dem Einstellen von Kontrast und Helligkeit der zweidimensionalen Ansichten und entspricht bei der Computertomographie dem *Hounsfield*-Fenster. Die Graustufenauflösung der Datensätze liegt in der Regel bei mindestens 12 Bit (*Binary digit*), das heißt $2^{12} = 4096$ mögliche Graustufen. Daher ist es immens wichtig, den Datensatz hinsichtlich Kontrastes und Helligkeit einzustellen. Das bedeutet, dass man die verfügbaren Graustufen des Objektes digital verschiebt. Die Grauwertregler wurden so eingestellt, dass das relevante Objekt gut zu erkennen war (Abb. 20). Nach der Lokalisation des Canalis incisivus wurde im „Segmentierungsmodus“ als nächster Schritt eine Farbe sowie eine Bezeichnung für die Segmentierung des Kanals festgelegt.

4. Material und Methode

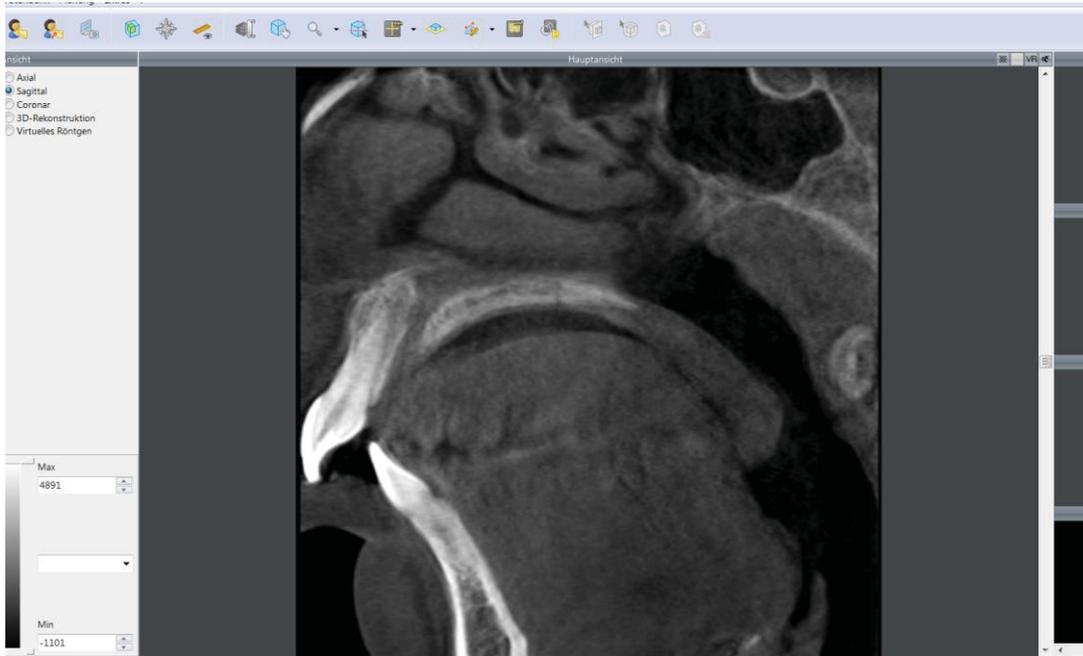


Abb. 20: Screenshot: Darstellung des Canalis incisivus in der sagittalen Ansicht.

Anschließend wurden die knöchernen Konturen des Canalis incisivus in jeder Schicht mit dem Segmentierungswerkzeug „Trennlinien“ manuell definiert (Abb. 21). Durch das Verbinden der Trennlinien hat sich für jede Schicht eine entsprechende definierte Trennfläche für das Objekt bzw. den Canalis incisivus ergeben (Abb. 22). Dieser Vorgang wurde für jede Schicht, in welcher die Konturen des Canalis incisivus identifiziert werden konnten, wiederholt. Schichtweise wurde mit dem „Flut-Werkzeug“ diese definierte Fläche farblich ausgefüllt. Der Randbereich der Flächen wurde in einem späteren Arbeitsschritt mit einem Segmentierungspinsel manuell bearbeitet bzw. virtuell geglättet (Abb. 23). Somit konnte das anatomische Zielgebiet in jeder Schicht farblich markiert und in der 3D-Ansicht dargestellt werden (Abb. 18 und 19).

4. Material und Methode

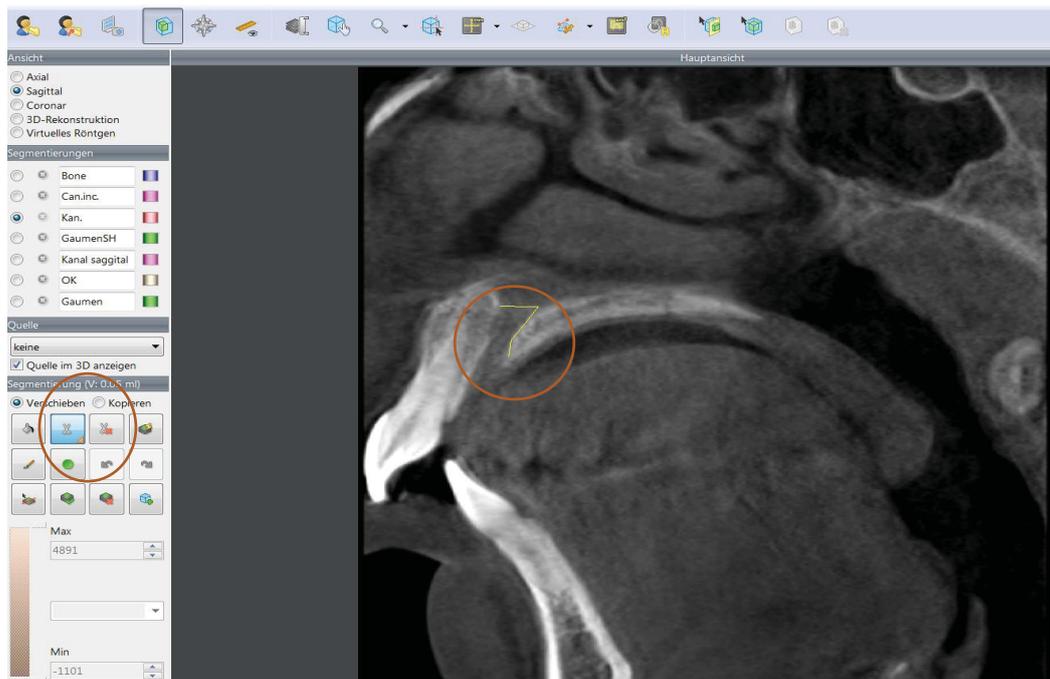


Abb. 21: Screenshot: Arbeitsschritte der manuellen Segmentierung des Canalis incisivus. Definieren der knöchernen Wände des Canalis incisivus durch Trennlinien.

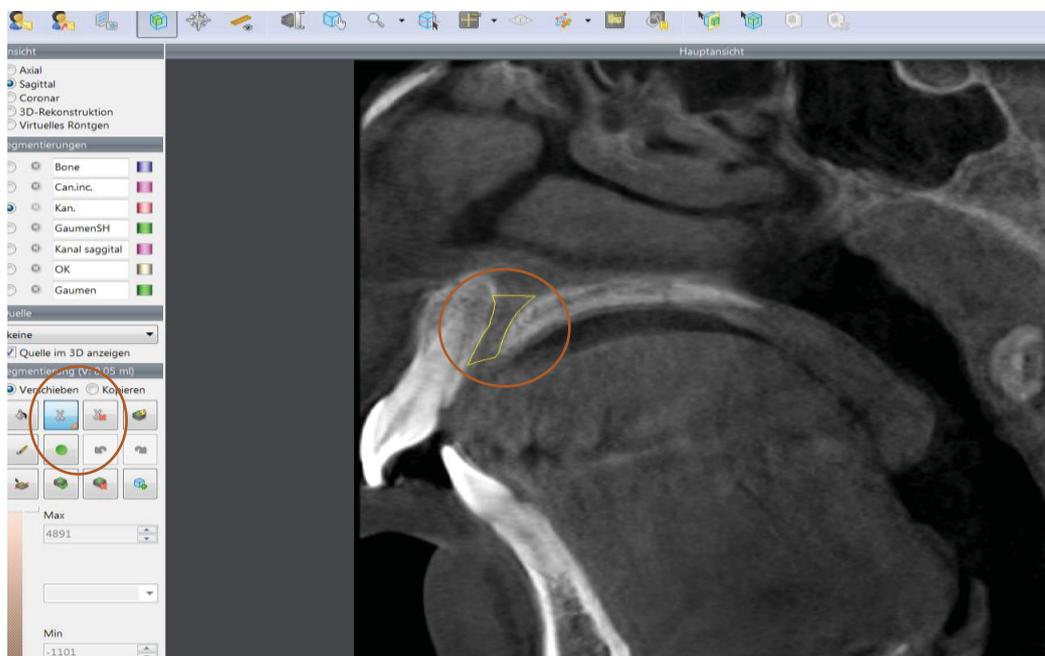


Abb. 22: Screenshot: Arbeitsschritte der manuellen Segmentierung des Canalis incisivus. Verbinden der Trennlinien.

4. Material und Methode

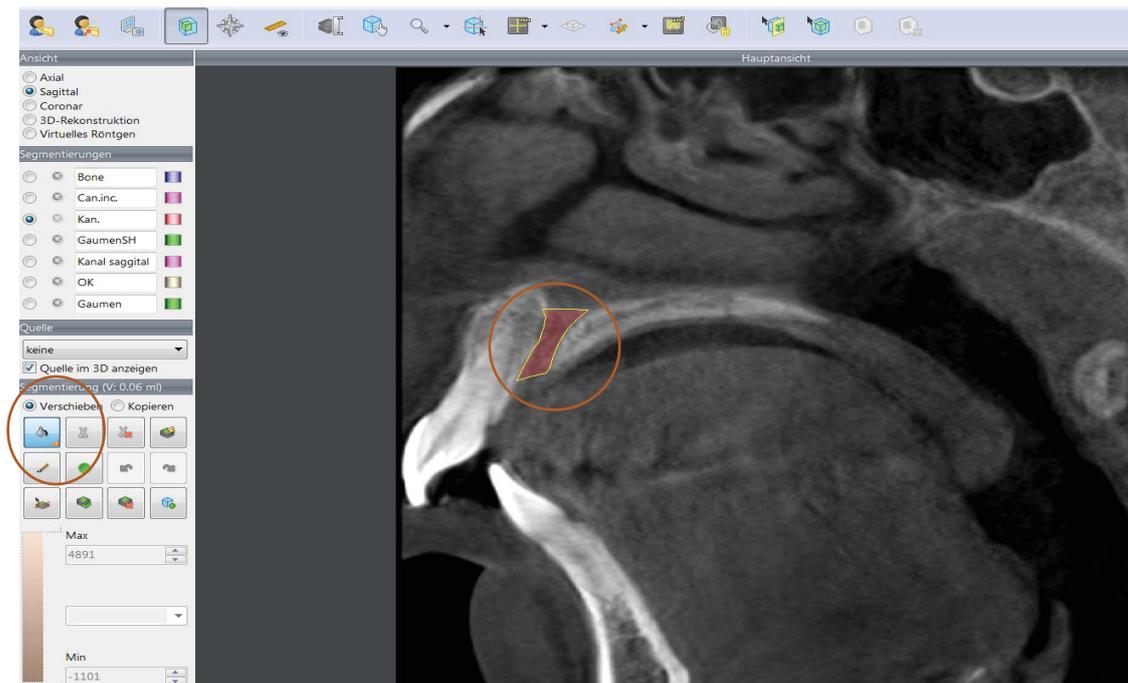


Abb. 23: Screenshot: Arbeitsschritte der manuellen Segmentierung des Canalis incisivus. Farbliches Auffüllen der markierten Fläche mit dem „Flut-Werkzeug“.

4.3.4 Arbeitsschritte im Modul „Skeleton“

Im Modul „Skeleton“ wurde mit dem Werkzeug „Implantate und 3D-Objekte“ ein virtuelles Mini-Implantat mit den Maßen 2 mm x 11 mm konstruiert (Abb. 24).

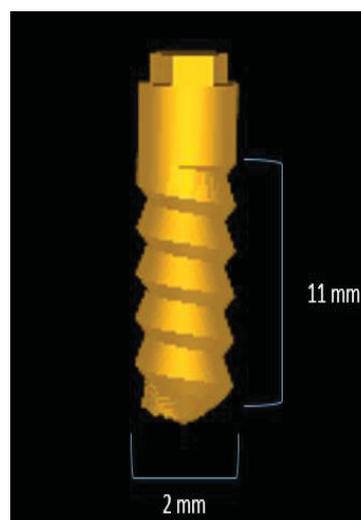


Abb. 24: Screenshot: Virtuelles Mini-Implantat, 2 mm x 11 mm.

4. Material und Methode

Anschließend wurden Referenzlinien für die Messungen bestimmt. Als horizontale Referenzlinie wurde die Okklusionsebene gewählt, da sie bei jedem Patienten in der 3D-Ansicht gut konstruierbar ist. Die Oberkiefer-Okklusionsebene verläuft durch die distale Höckerspitze des oberen ersten bleibenden Molaren und der Schneidekante des am weitesten vorstehenden oberen mittleren Schneidezahnes. Der Nullpunkt der Messskala verlief im rechten Winkel zur Okklusionsebene durch die Schmelz-Zement-Grenze palatinal des oberen mittleren Schneidezahnes (Abb. 25).

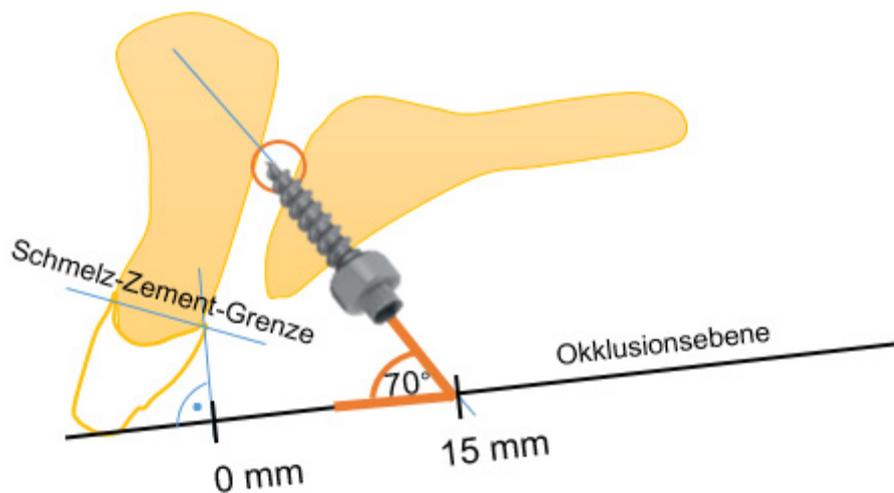


Abb. 25: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues.

Sowohl die Referenzlinie „Okklusionsebene“, als auch die „Schmelz-Zement-Grenze“, wurden farblich markiert und in der Software gespeichert. In einem weiteren Schritt erfolgte das Konstruieren der Insertionswinkel. Die Winkel wurden durch je einen Scheitelpunkt und je einen Punkt pro Schenkel definiert (Abb. 25 und 26).

4. Material und Methode

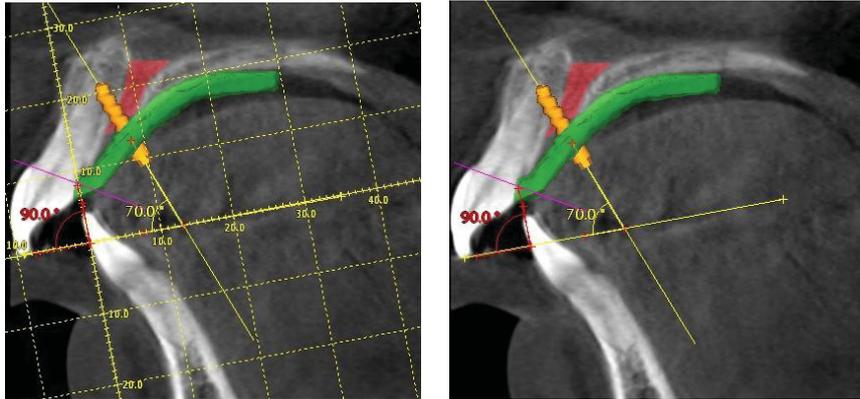


Abb. 26: Screenshot: Insertionsbeispiel mit einem Insertionswinkel von 70° bei einem Insertionsabstand von 13 mm (Schmelz-Zement-Grenze: lila, Okklusionsebene: gelb).

Um systematisch zu evaluieren, wann und mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Penetration des Canalis incisivus stattfindet, wurden mehrere Insertionspositionen festgelegt. Insgesamt wurden fünf mediane Insertionsorte definiert. Die unterschiedlichen Insertionsorte lagen in den Abständen von 13 mm, 16 mm, 19 mm, 22 mm, und 25 mm, gemessen von der Schmelz-Zement-Grenze des oberen mittleren Schneidezahnes bis zur Längsachse des Mini-Implantates (Abb. 26 und 27). Da die Penetration auch von dem Insertionswinkel abhängt, wurden vier verschiedene Insertionswinkel ausgesucht, die besonders häufig verwendet werden. In dieser Studie wurden die Insertionswinkel von 60° , 70° , 80° und 90° relativ zur Okklusionsebene gewählt und bei den 50 ausgewählten Patienten ergab es dementsprechend 1000 virtuelle Insertionen, bei denen virtuelle Penetrationen der kortikalen Wand des Canalis incisivus identifiziert wurden. Die Identifizierung von Penetrationen wurde anhand der dreidimensionalen Darstellung visuell bewertet und in einer Tabelle zusammengefasst (Abb. 28, 29, 30, 31, 32).

4. Material und Methode

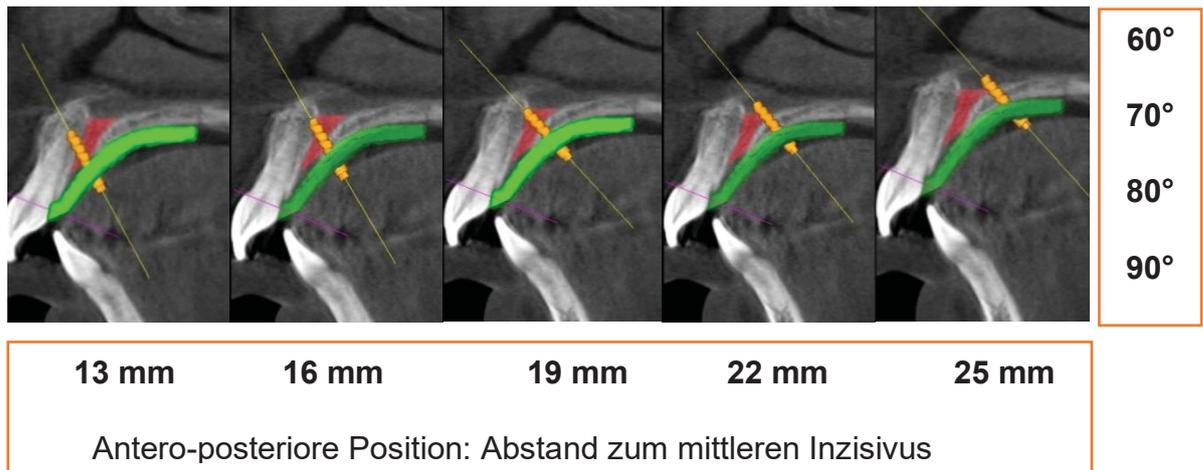


Abb. 27: Virtuelle Insertionsbeispiele von median inserierten Mini-Implantaten in einem Insertionswinkel von 70° in den Abständen 13, 16, 19, 22 und 25 mm (von links nach rechts), (grün: Gaumenschleimhaut, pink: Canalis incisivus, orange: Mini-Implantat, lila: Schmelz-Zement-Grenze).

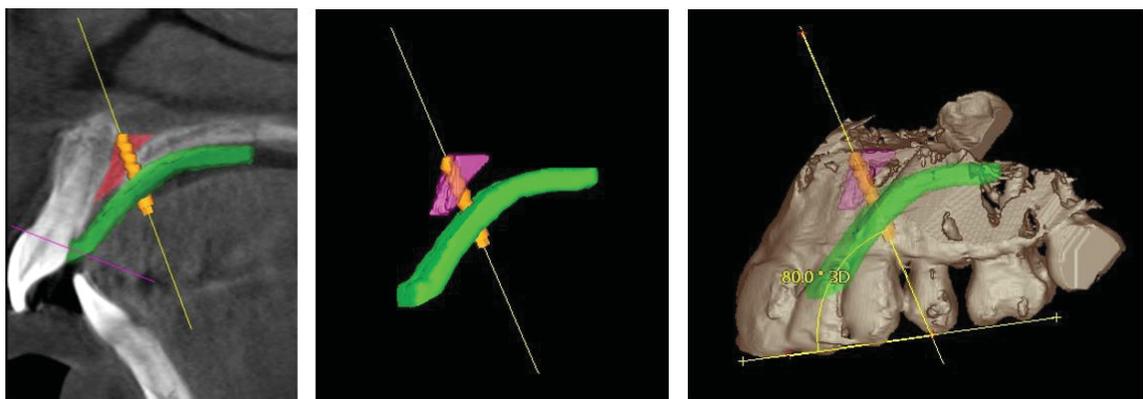


Abb. 28: Virtuelle Insertionsbeispiele von median inserierten Mini-Implantaten in einem Insertionswinkel von 80°, Insertionsabstand 13 mm (grün: Gaumenschleimhaut, pink: Canalis incisivus, orange: Mini-Implantat, lila: Schmelz-Zement-Grenze).

4. Material und Methode

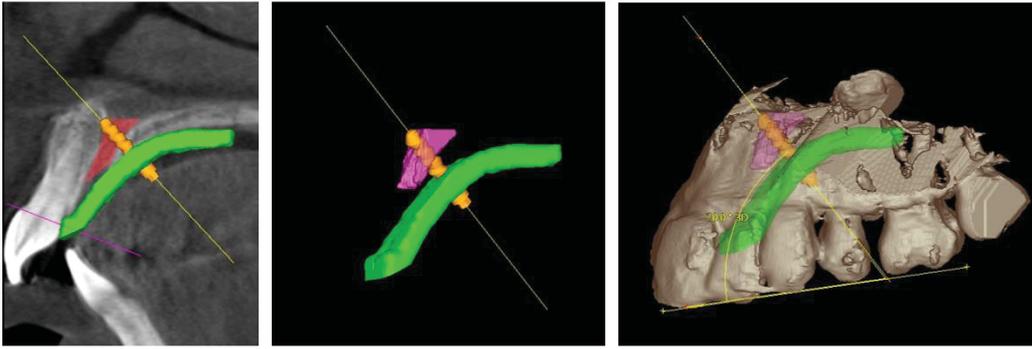


Abb. 29: Virtuelle Insertionsbeispiele von median inserierten Mini-Implantaten in einem Insertionswinkel von 70°, Insertionsabstand 16 mm (grün: Gaumenschleimhaut, pink: Canalis incisivus, orange: Mini-Implantat, lila: Schmelz-Zement-Grenze).

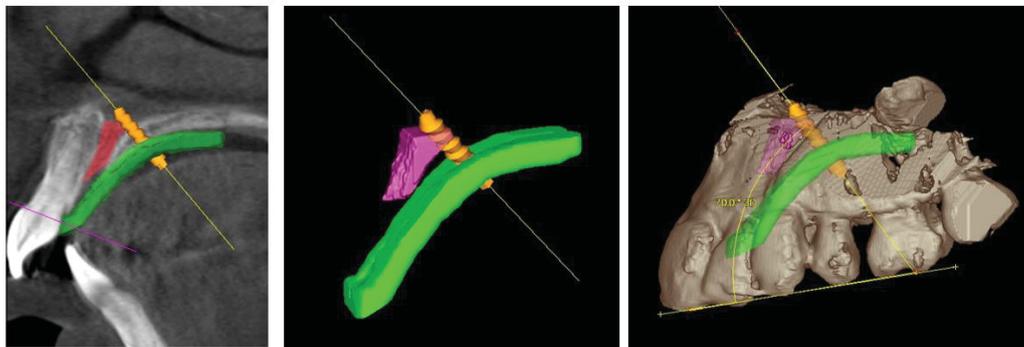


Abb. 30: Virtuelle Insertionsbeispiele von median inserierten Mini-Implantaten in einem Insertionswinkel von 80°, Insertionsabstand 19 mm (grün: Gaumenschleimhaut, pink: Canalis incisivus, orange: Mini-Implantat, lila: Schmelz-Zement-Grenze).

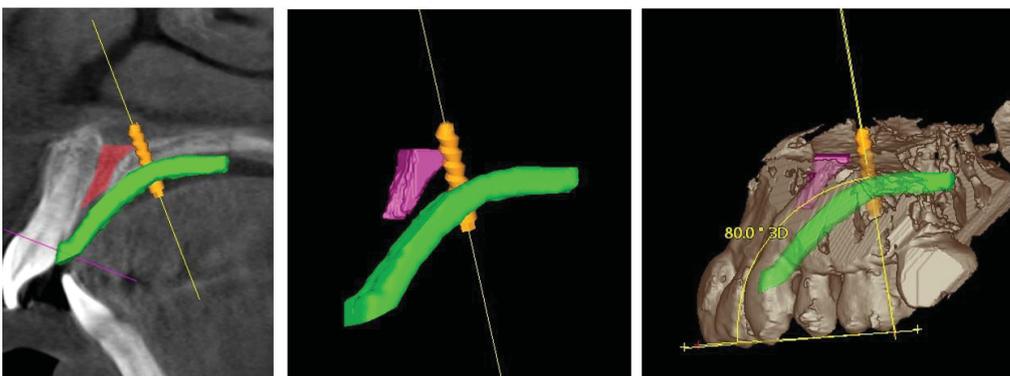


Abb. 31: Virtuelle Insertionsbeispiele von median inserierten Mini-Implantaten in einem Insertionswinkel von 80°, Insertionsabstand 22 mm (grün: Gaumenschleimhaut, pink: Canalis incisivus, orange: Mini-Implantat, lila: Schmelz-Zement-Grenze).

4. Material und Methode

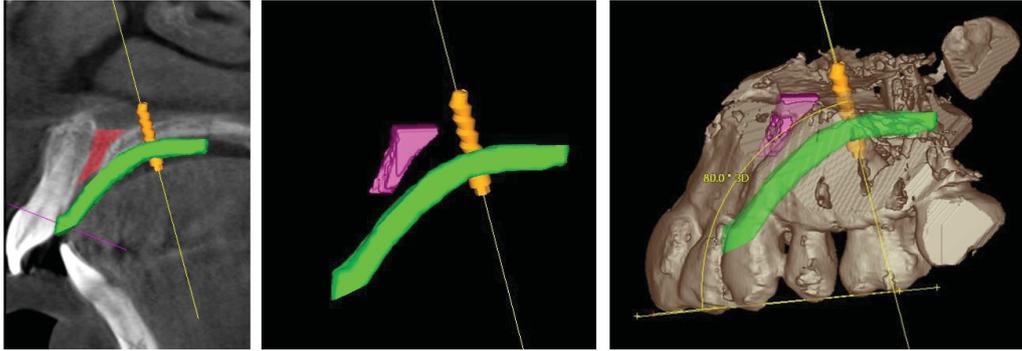


Abb. 32: Virtuelle Insertionsbeispiele von median inserierten Mini-Implantaten in einem Insertionswinkel von 80°, Insertionsabstand 25 mm (grün: Gaumenschleimhaut, pink: Canalis incisivus, orange: Mini-Implantat, lila: Schmelz-Zement-Grenze).

4.4 Statistische Analyse

Für die statistische Auswertung wurde analysiert, ob die Penetrationswahrscheinlichkeit von der Anzahl der Kanäle, von der Form des Canalis incisivus, vom Insertionsabstand, vom Insertionswinkel oder von dem Alter der Patienten abhing. Mit dem Statistikprogramm SPSS 22.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*) wurde die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Penetration des Canalis incisivus untersucht. Das dazu verwendete Verfahren ist eine binär logistische Regressionsanalyse. Mit diesem Verfahren kann man untersuchen, welche Variablen bzw. Prädiktoren einen signifikanten Beitrag zur Vorhersage des Auftretens einer Penetration liefern. Bei einer Regressionsanalyse erhält man drei Ergebnisse. Mit dem Omnibus- bzw. Chi-Quadrat-Test erhält man Auskunft, ob die Vorhersage des Auftretens einer Penetration mit allen Prädiktoren signifikant besser ist als ohne Prädiktoren. Des Weiteren kann mit einer Regressionsanalyse bestimmt werden, wie gut die Vorhersage ist und welchen Beitrag jeder einzelne Prädiktor zur Vorhersage des Auftretens einer Penetration leistet. Für jede Analyse wurde eine Kreuztabelle erstellt, welche Anzahl und Verteilung der Penetrationen für einen einzelnen Prädiktor zeigt. Die Signifikanzgrenze wird mit $p < .05$ festgelegt. Zum Zweck der direkten Gegenüberstellung wird für jede Fragestellung eine Balkengrafik erstellt.

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der statistischen Auswertung

5.1.1 Penetrationswahrscheinlichkeit

5.1.1.1 In Abhängigkeit von der Kanalanzahl

Im Folgenden sieht man auf deskriptiver Ebene, dass der Anteil an Penetrationen für Patienten mit einem Canalis incisivus (28,1%) unwesentlich höher ist als der Anteil der Patienten mit zwei Kanälen (22,5%) (Abb. 33 und Tabelle 2).

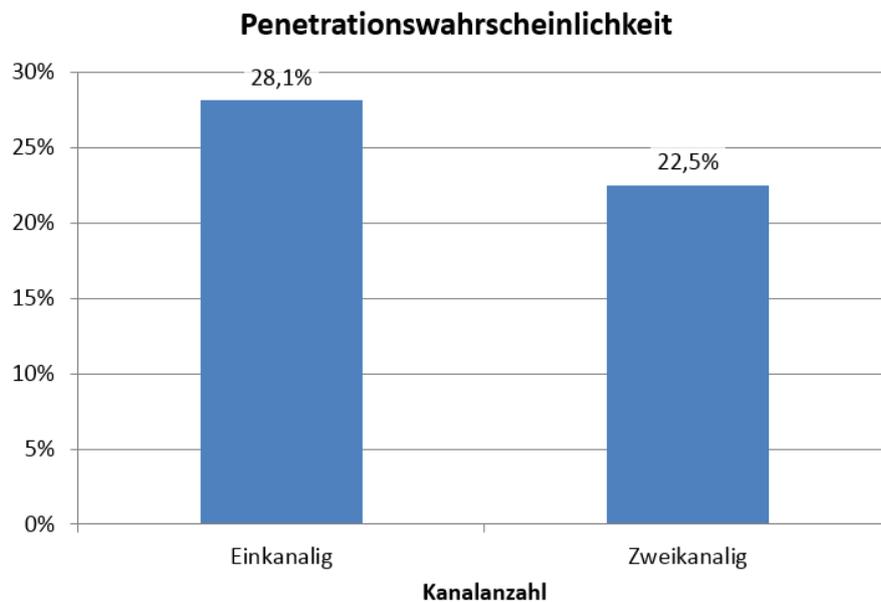


Abb. 33: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalanzahl.

Tabelle 2: Kreuztabelle: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalanzahl.

Kanalanzahl		Penetration		Gesamt
		Nein	Ja	
Einkanalig	Anzahl	690	270	960
	% innerhalb von Kanalanzahl	71,9%	28,1%	100%
Zweikanalig	Anzahl	31	9	40
	% innerhalb von Kanalanzahl	77,5%	22,5%	100%

5. Ergebnisse

Der Omnibus-Test bzw. Chi-Quadrat-Test gibt Auskunft zu der bereits oben genannten Frage, ob die Vorhersage des Auftretens einer Penetration mit allen Prädiktoren signifikant besser ist als ohne Prädiktoren. Bei diesem Test betrachtet man nur den p -Wert in der Spalte „sig.“ (signifikant). Liegt dieser p -Wert unter .05, so ist mit allen Prädiktoren, die in der jeweiligen Analyse angegeben wurden, eine signifikant bessere Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit möglich als ohne sie. Im vorliegenden Fall liegt der p -Wert bei $p = .427$, somit liegt keine signifikant bessere Vorhersage mit Hilfe der Kanalanzahl vor (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ergebnisse des Omnibus-Tests: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalanzahl.

Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten				
		Chi-Quadrat	df	sig.
Schritt 1	Modell	,630	1	.427

df = degrees of freedom, *sig.* = signifikant

Das Maß Nagelkerkes *R-Quadrat* liefert Auskunft zu der oben genannten Frage, wie gut die Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit ist. Dieses Maß kann nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen und steht für den Anteil aufgeklärter Varianz (0 = 0%, 1 = 100%). Allgemein sollte dieser Wert größer oder gleich 0,10 sein, damit man von einer guten Vorhersage sprechen kann. Im vorliegenden Fall hat Nagelkerkes *R-Quadrat* einen Wert von 0,001, was einer Varianzaufklärung von 0,1% entspricht. Folglich ist die Vorhersage mit Hilfe der Kanalanzahl nicht aussagekräftig (Tabelle 4).

Tabelle 4: Nagelkerkes *R-Quadrat*: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalanzahl.

Modellzusammenfassung	
Schritt	Nagelkerkes <i>R-Quadrat</i>
1	,001

Die nachfolgende Tabelle liefert die Information zu der eingangs formulierten Frage, welchen Beitrag jeder einzelne Prädiktor zur Vorhersage des Auftretens

5. Ergebnisse

einer Penetration leistet. Für die Kanalanzahl liegt der p -Wert bei $p = .439$ (Tabelle 5). Folglich ist die Kanalanzahl kein signifikanter Prädiktor für das Auftreten einer Penetration.

Tabelle 5: Ergebnisse der Regressionsanalyse: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalanzahl.

Variablen in der Gleichung				95% Konfidenzintervall für OR		
Schritt		Regressionskoeffizient B	sig.	OR	Unterer Wert	Oberer Wert
1	Kanalanzahl	-,298	.439	,742	,349	1,579
	Konstante	-,640	.114	,527		

sig. = signifikant, OR = Odds Ratio

Wie sich der Prädiktor auf die Auftrittswahrscheinlichkeit auswirkt, kann man an den *Odds Ratio* in der Spalte "OR" ablesen. Das *Odds Ratio* (OR) gibt an, um welchen Betrag sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Penetration verändert, wenn der jeweilige Prädiktor um eine Einheit steigt. Zur Interpretation von *Odds Ratio* gilt allgemein: $OR = 1$: keine Veränderung, $OR < 1$: die Auftrittswahrscheinlichkeit verringert sich mit zunehmenden Werten im Prädiktor, $OR > 1$: die Auftrittswahrscheinlichkeit erhöht sich mit zunehmenden Werten im Prädiktor. Die Auswertung der Tabelle 5 ergibt, dass für die Kanalanzahl ein Odds Ratio von $OR = 0,74$ vorliegt. Das bedeutet, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Penetration ist für Patienten mit zwei Kanälen 0,74-mal so hoch wie für Patienten mit einem Kanal. Folglich sinkt die Auftrittswahrscheinlichkeit. Allerdings wurde zuvor anhand des p -Wertes festgestellt, dass es sich um einen nicht signifikanten Prädiktor handelt und somit ist auch diese Veränderung nicht signifikant.

5. Ergebnisse

5.1.1.2 In Abhängigkeit von der Kanalform

Die nachfolgende Balkengrafik veranschaulicht, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform variiert.

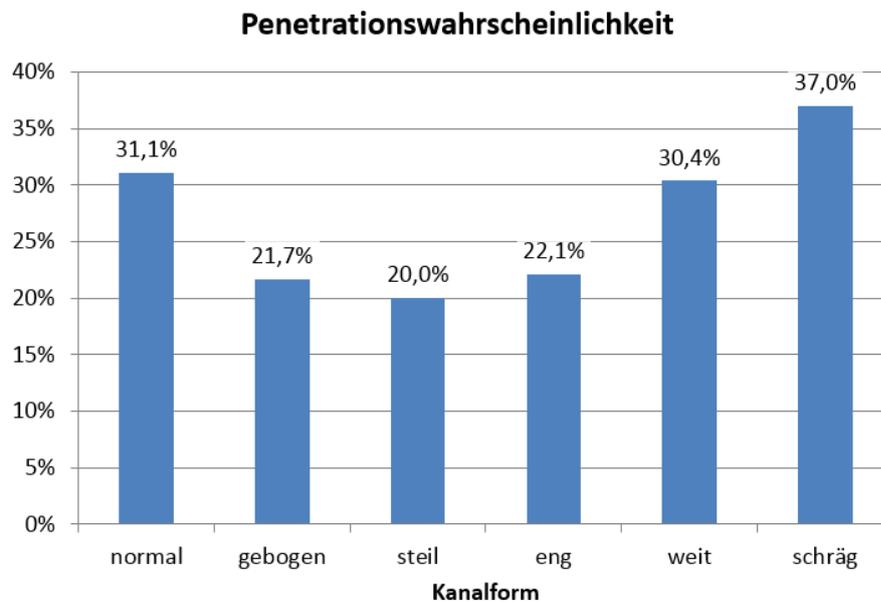


Abb. 34: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform.

Patienten, die einen Canalis incisivus mit steiler Kanalform aufweisen, haben einen geringeren Anteil (20%) an Penetrationen, wohingegen Patienten mit einer schrägen Kanalform einen sehr hohen Anteil (37%) an Penetrationen zeigen. Wenige Unterschiede lassen sich bei einer gebogenen (21,7%), steilen (20%) und engen (22,1%) Kanalform feststellen. Der Anteil an Penetrationen liegt bei normaler sowie weiter Kanalform bei 31,1% bzw. 30,4% (Abb. 34 und Tabelle 6). Die Auswertung des Omnibus-Tests ergibt, dass mit der Kanalform eine signifikante Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit möglich ist ($p = .010$). Die Güte der Vorhersage ist bei einem *R-Quadrat* von 0,02 allerdings noch sehr gering (Tabelle 7 und 8).

5. Ergebnisse

Tabelle 6: Kreuztabelle: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform.

Kanalform		Penetration		Gesamt
		Nein	Ja	
Normal	Anzahl	193	87	280
	% innerhalb von Kanalform	68,9%	31,1%	100%
Gebogen	Anzahl	47	13	60
	% innerhalb von Kanalform	78,3%	21,7%	100%
Steil	Anzahl	128	32	160
	% innerhalb von Kanalform	80%	20%	100%
Eng	Anzahl	109	31	140
	% innerhalb von Kanalform	77,9%	22,1%	100%
Weit	Anzahl	181	79	260
	% innerhalb von Kanalform	69,6%	30,4%	100%
Schräg	Anzahl	63	37	100
	% innerhalb von Kanalform	63%	37%	100%

Tabelle 7: Ergebnisse des Omnibus-Tests: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform.

Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten				
		Chi-Quadrat	df	sig.
Schritt 1	Modell	14,994	5	.010

df = degrees of freedom, *sig.* = signifikant

Tabelle 8: Nagelkerkes *R-Quadrat*: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform.

Modellzusammenfassung	
Schritt	Nagelkerkes <i>R-Quadrat</i>
1	,021

5. Ergebnisse

Bei kategorialen Prädiktoren mit mehr als zwei Stufen müssen „Dummyvariablen“ gebildet werden. Sie dienen dazu die Gruppen paarweise miteinander zu vergleichen. Die Vergleichsgruppe bleibt dabei immer konstant. Bei den nachfolgenden Auswertungen ist die Vergleichsgruppe bzw. die Referenzgruppe immer die erste Kategorie. Im vorliegenden Fall ist die Referenzgruppe die Kanalform „normal“ (Tabelle 9 und 10).

Tabelle 9: Codierungen kategorialer Variablen: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform.

Codierungen kategorialer Variablen						
		Parameterkodierung				
		Häufigkeit	1	2	3	4
Kanal- form	Normal Gebogen	280	0,000	0,000	0,000	0,000
		60	1,000	0,000	0,000	0,000
	Steil Eng	160	0,000	1,000	0,000	0,000
		140	0,000	0,000	1,000	0,000
	Weit Schräg	260	0,000	0,000	0,000	1,000
100		0,000	0,000	0,000	0,000	

Wie bereits erwähnt, erhält man bei kategorialen Variablen das Ergebnis verschiedener Gruppenvergleiche. In der Tabelle 10 zeigt die Angabe „Kanalform_Gebogen (1)“ das Ergebnis des Gruppenvergleiches von einer normalen und einer gebogenen Kanalform. Mit einem p -Wert von $p = .150$ gibt es hier keine signifikante Veränderung. Das Ergebnis in der Zeile „Kanalform_Steil (2)“ gibt den Vergleich von „normal“ und „steil“ wider. Hier stellt sich eine signifikante Veränderung der Penetrationswahrscheinlichkeit dar ($p = .013$, $OR = 0,56$). Das bedeutet, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit bei steilem Kanal im Vergleich zu einem normal geformten Kanal signifikant geringer ist. Der Vergleich zwischen einem „normalen“ sowie einem „engen“ Kanal („Kanalform_Eng (3)“) zeigt, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit bei einem engen Kanal im Gegensatz zu einem normalen Kanal keine signifikante Veränderung aufweist ($p = .056$, $OR = 0,63$).

5. Ergebnisse

Tabelle 10: Ergebnisse der Regressionsanalyse: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Kanalform.

		Variablen in der Gleichung			95% Konfidenzintervall für OR	
Schritt		Regressionskoeffizient B	sig.	OR	Unterer Wert	Oberer Wert
1	Kanalform_Normal		.013			
	Kanalform_Gebogen (1)	-,488	.150	,614	,316	1,192
	Kanalform_Steil (2)	-,590	.013	,555	,349	,881
	Kanalform_Eng (3)	-,461	.056	,631	,393	1,012
	Kanalform_Weit (4)	-,032	.863	,968	,672	1,396
	Kanalform_Schräg (5)	,265	.278	1,303	,807	2,102
	Konstante	-,797	.000	,451		

sig. = signifikant, OR = Odds Ratio

Auch der Vergleich „normal“ und „weit“ („Kanalform_Weit (4)“) ergibt, dass bei einem weiten Kanal keine signifikante Veränderung hinsichtlich der Penetrationswahrscheinlichkeit ($p = .863$, $OR = 0,96$) im Vergleich zu einem normalen Kanal nachweisbar ist. Die Auswertung bezogen auf den Vergleich „normal“ und „schräg“ („Kanalform_Schräg (5)“) ergibt, dass es mit einem p -Wert von $p = .278$ keine signifikante Veränderung gibt. Das *Odds Ratio* von $OR = 1,30$ zeigt an, dass die Auftrittswahrscheinlichkeit für eine Penetration bei einem schrägen Kanal um das 1,3-fache erhöht ist im Vergleich zu einem normalen Kanal (Tabelle 10).

5.1.1.3 In Abhängigkeit vom Alter der Patienten

Ebenfalls wurde untersucht, wie die erhobenen Daten vom Alter der Patienten beeinflusst werden. Die Abbildung 30 und Tabelle 11 zeigen, dass der Anteil der Penetrationen in allen drei Altersklassen nur geringe Abweichungen voneinander aufweisen (unter 18 Jahre = 27,5%, 18-50 Jahre = 28,6%, 51 Jahre und älter = 26,3% (Abb. 35 und Tabelle 11)).

5. Ergebnisse

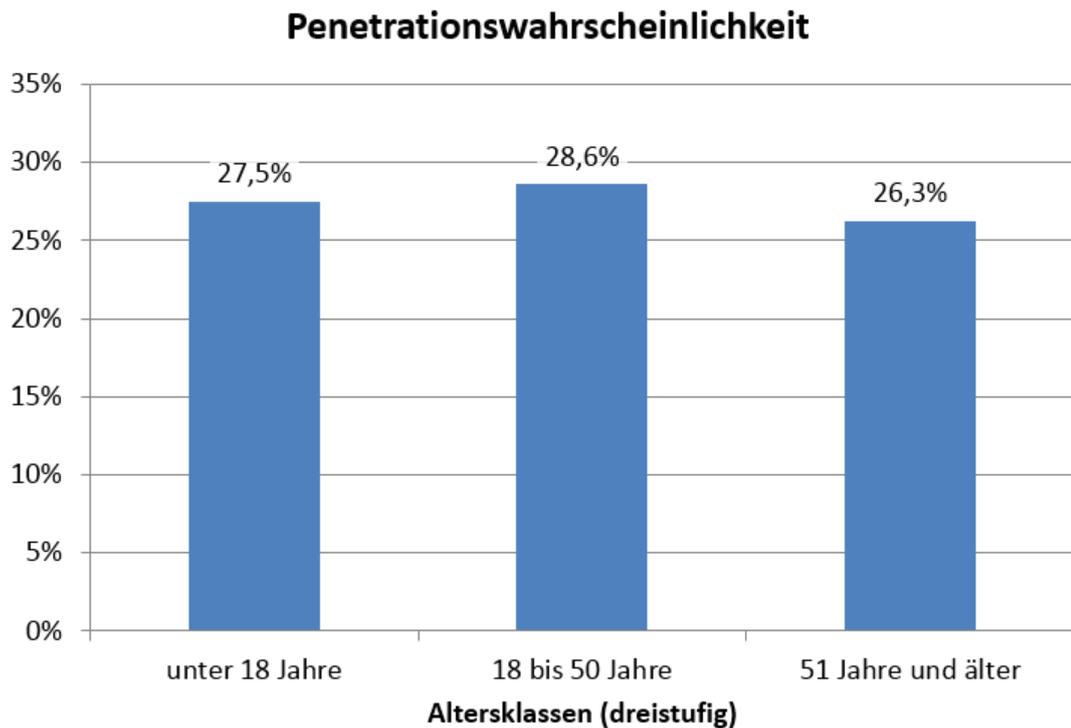


Abb. 35: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

Tabelle 11: Kreuztabelle: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

Altersklasse		Penetration		Gesamt
		Nein	Ja	
Unter 18 Jahre	Anzahl	87	33	120
	% innerhalb von Altersklasse	72,5%	27,5%	100%
18 bis 50 Jahre	Anzahl	457	183	640
	% innerhalb von Altersklasse	71,4%	28,6%	100%
51 Jahre oder älter	Anzahl	177	63	240
	% innerhalb von Altersklasse	73,8%	26,3%	100%

5. Ergebnisse

Der p -Wert beim Omnibus-Test beträgt $p = .782$ und somit ist mit der Altersklasse keine signifikante Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit möglich (Tabelle 12). Auch der R -Quadrat-Wert von 0,001 belegt, dass die Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit mit Hilfe der Alterklasse nicht aussagekräftig ist (Tabelle 13).

Tabelle 12: Ergebnisse des Omnibus-Tests: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten				
		<i>Chi-Quadrat</i>	<i>df</i>	<i>sig.</i>
Schritt 1	Modell	,491	2	.782

df = degrees of freedom, *sig.* = signifikant

Tabelle 13: Nagelkerkes R -Quadrat: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

Modellzusammenfassung	
Schritt	Nagelkerkes R -Quadrat
1	,001

Tabelle 14: Codierungen kategorialer Variablen: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

Codierungen kategorialer Variablen					
		Parameterkodierung			
		Häufigkeit		1	2
Alters- klasse	Unter 18 Jahre	120		0,000	0,000
	18 bis 50 Jahre	640		1,000	0,000
	51 Jahre und älter	240		0,000	1,000

5. Ergebnisse

Für den Vergleich zwischen den unterschiedlichen Altersklassen und die nachfolgenden Auswertungen wurde als Referenzgruppe die Altersklasse „unter 18 Jahre“ gewählt (Tabelle 14). Der Vergleich der Altersklassen „unter 18 Jahre“ und „18-50 Jahre“ („Alter_18 bis 50 Jahre (1)“) zeigt, dass es keine signifikante Veränderung der Penetrationswahrscheinlichkeit gibt ($p = .807$, $OR = 1,056$). Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Penetration ist bei Patienten mit einem Alter von 18-50 Jahren 1,056-mal so hoch wie für Patienten, die ein Alter von unter 18 Jahren aufweisen. Die Auswertung des Gruppenvergleiches „unter 18 Jahre“ sowie „51 Jahre oder älter“ („Alter_≥ 51 Jahre (2)“) ergibt ebenfalls keine signifikante Veränderung der Penetrationswahrscheinlichkeit. Das *Odds Ratio* von 0,938 veranschaulicht, dass die Auftrittswahrscheinlichkeit von Penetrationen bei über 51-Jährigen Patienten im Vergleich zu unter 18-Jährigen sinkt (Tabelle 15).

Tabelle 15: Ergebnisse der Regressionsanalyse: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

		Variablen in der Gleichung			95% Konfidenzintervall für OR	
		Regressionskoeffizient B	sig.	OR	Unterer Wert	Oberer Wert
Schritt 1	Alter_ < 18 Jahre		.784			
	Alter_18 bis 50 J. (1)	,054	.807	1,056	,683	1,632
	Alter_≥ 51 Jahre (2)	-,064	.800	,938	,573	1,537
	Konstante	-,969	.000	,379		

sig. = signifikant, OR = Odds Ratio

5.1.1.4 In Abhängigkeit vom Insertionswinkel

Die nachfolgende Grafik und Kreuztabelle zeigen die Ergebnisse der Auftrittswahrscheinlichkeit von Penetrationen in Abhängigkeit vom Insertionswinkel. Der Anteil von Penetrationen bei einem Insertionswinkel von 60° liegt mit 48,8% am höchsten. Bei einem Insertionswinkel von 70° sinkt der Penetrationsanteil auf

5. Ergebnisse

39,6%. Ein Insertionswinkel von 80° lässt eine Abnahme auf rund die Hälfte erkennen (19,6%). Eine deutliche Abnahme des Penetrationsanteiles (3,6%) zeigt sich bei einem Insertionswinkel von 90° (Abb. 36 und Tabelle 16).

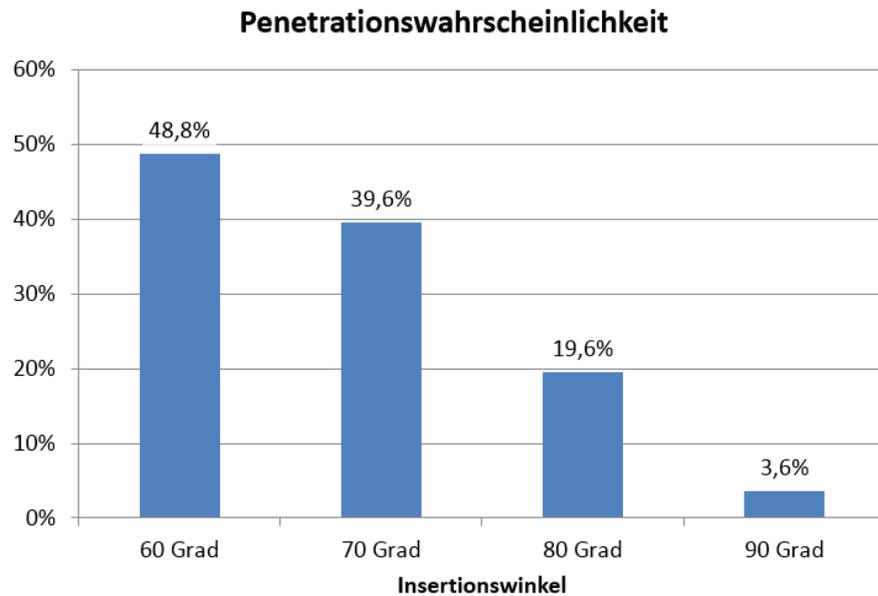


Abb. 36: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionswinkel.

Tabelle 16: Kreuztabelle: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionswinkel.

Insertionswinkel		Penetration		Gesamt
		Nein	Ja	
60°	Anzahl	128	122	250
	% innerhalb von Insertionswinkel	51,2%	48,8%	100%
70°	Anzahl	151	99	250
	% innerhalb von Insertionswinkel	60,4%	39,6%	100%
80°	Anzahl	201	49	250
	% innerhalb von Insertionswinkel	80,4%	19,6%	100%
90°	Anzahl	241	9	250
	% innerhalb von Insertionswinkel	96,4%	3,6%	100%

5. Ergebnisse

Die Ergebnisse in den Tabellen 17 und 18 zeigen, dass der Insertionswinkel einzeln betrachtet ein signifikanter Prädiktor zur Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit ist ($p > .001$, (Tabelle 17); Nagelkerkes *R-Quadrat* = ,214 (Tabelle 18)).

Tabelle 17: Ergebnisse des Omnibus-Tests: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionswinkel.

Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten				
		<i>Chi-Quadrat</i>	<i>df</i>	<i>sig.</i>
Schritt 1	Modell	160,430	1	.000

df = degrees of freedom, *sig.* = signifikant

Tabelle 18: Nagelkerkes *R-Quadrat*: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionswinkel.

Modellzusammenfassung	
Schritt	Nagelkerkes <i>R-Quadrat</i>
1	,214

Wie bereits erwähnt, sollte Nagelkerkes *R-Quadrat* einen Wert gleich oder höher 0,1 betragen, um eine gute Vorhersage bestätigen zu können. Der Wert für das Nagelkerkes *R-Quadrat* beträgt 0,214 und folglich ist mit dem Insertionswinkel eine gute Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit möglich (Tabelle 18). Das *Odds Ratio* von 0,41 bedeutet, dass mit einer Zunahme des Winkels um jeweils zehn Grad, die Wahrscheinlichkeit einer Penetration nur noch 0,41-mal so hoch ist, wie zuvor. Die Auswertungen ergeben, dass die Wahrscheinlichkeit einer Penetration mit zunehmendem Insertionswinkel abnimmt (Tabelle 19).

5. Ergebnisse

Tabelle 19: Ergebnisse der Regressionsanalyse: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionswinkel.

Variablen in der Gleichung						
				95% Konfidenzintervall für OR		
		Regressionskoeffizient B	sig.	OR	Unterer Wert	Oberer Wert
Schritt 1	Insertionswinkel	-,884	.000	,413	,355	,481
	Konstante	1,054	.000	2,868		

sig. = signifikant, OR = Odds Ratio

5.1.1.5 In Abhängigkeit vom Insertionsabstand

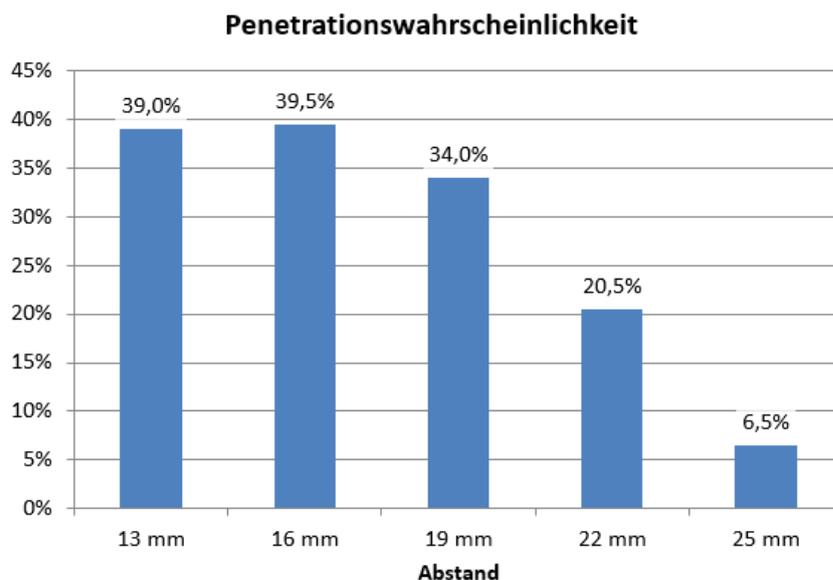


Abb. 37: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionsabstand.

Bei einem Insertionsabstand von 13 mm (39,0%) sowie 16 mm (39,5%) zeigt sich ein hoher Anteil an Penetrationen. Die Penetrationsrate bei einem Insertionsabstand von 19 mm (34,0%) und 22 mm (20,5%) fällt geringer aus. Eine deutliche Senkung des Risikos einer Penetration des Canalis incisivus wird durch einen Insertionsabstand von 25 mm (6,5%) erreicht (Abb. 37 und Tabelle 20).

5. Ergebnisse

Tabelle 20: Kreuztabelle: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionsabstand.

Insertionsabstand		Penetration		
		Nein	Ja	Gesamt
13 mm	Anzahl	122	78	200
	% innerhalb von Insertionsabstand	61%	39%	100%
16 mm	Anzahl	121	79	200
	% innerhalb von Insertionsabstand	60,5%	39,5%	100%
19 mm	Anzahl	132	68	200
	% innerhalb von Insertionsabstand	66%	34%	100%
22 mm	Anzahl	159	41	200
	% innerhalb von Insertionsabstand	79,5%	20,5%	100%
25 mm	Anzahl	187	13	200
	% innerhalb von Insertionsabstand	93,5%	6,5%	100%

Tabelle 21: Ergebnisse des Omnibus-Tests: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionsabstand.

Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten				
		Chi-Quadrat	df	sig.
Schritt 1	Modell	72,187	1	.000

df = degrees of freedom, *sig.* = signifikant

Die Ergebnisse des Omnibus-Tests und der Nagelkerkes *R-Quadrat* veranschaulichen, dass der Insertionsabstand einzeln betrachtet ein signifikanter Prädiktor zur Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit ist ($p > .001$ (Tabelle 21); Nagelkerkes *R-Quadrat* = 0,10 (Tabelle 22); *OR* = 0,64 (Tabelle 23)). Mit einer Zunahme des Insertionsabstandes um jeweils 3 mm ist die Wahrscheinlichkeit einer Penetration nur noch 0,64-mal so hoch, wie zuvor. Dem-

5. Ergebnisse

gemäß nimmt die Penetrationswahrscheinlichkeit mit zunehmendem Insertionsabstand ab.

Tabelle 22: Nagelkerkes *R*-Quadrat: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionsabstand.

Modellzusammenfassung	
Schritt	Nagelkerkes <i>R</i> -Quadrat
1	,100

Tabelle 23: Ergebnisse der Regressionsanalyse: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Insertionsabstand.

Variablen in der Gleichung						
					95% Konfidenzintervall für OR	
		Regressionskoeffizient B	sig.	OR	Unterer Wert	Oberer Wert
Schritt 1	Insertionsabstand	-,443	.000	,642	,577	,715
	Konstante	,293	.067	1,341		

sig. = signifikant, *OR* = Odds Ratio

5.1.1.6 In Abhängigkeit von drei Prädiktoren

In der nachfolgenden Analyse wird der Insertionswinkel, der Abstand sowie die Interaktion zwischen beiden Prädiktoren "Abstand by Insertionswinkel" zusammen betrachtet. Man kann die Ergebnisse der multiplen Regression allerdings nicht so einfach auf die Zahlen in der Kreuztabelle übertragen. Es ist gerade das Wesen der multiplen Regression das Zustandekommen dieser Zahlen durch die drei Faktoren Insertionswinkel, Insertionsabstand und die Interaktion von Insertionswinkel und -abstand zu erklären. Die einzelnen Effekte sind deshalb nicht in den Zahlen sichtbar und können auch nicht graphisch dargestellt werden.

5. Ergebnisse

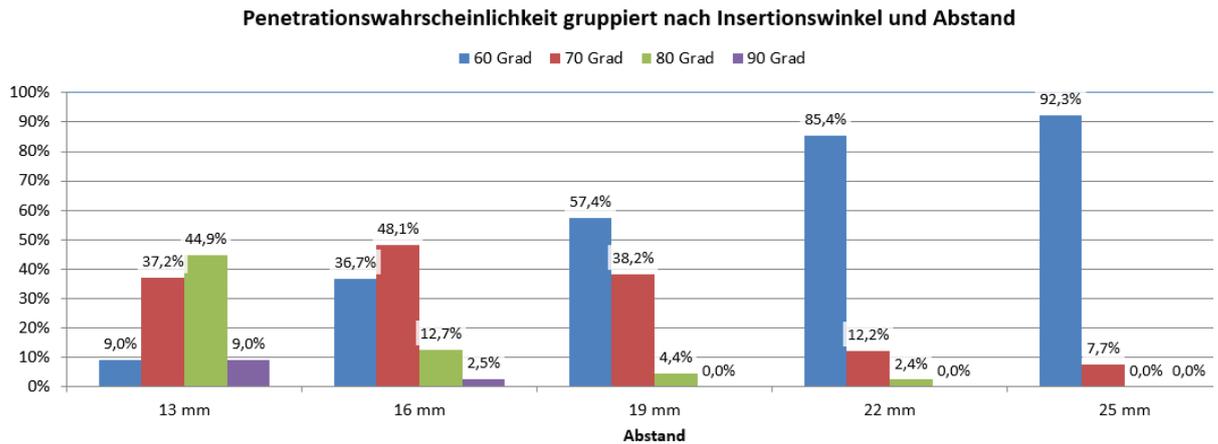


Abb. 38: Penetrationswahrscheinlichkeit gruppiert nach Insertionswinkel und -abstand.

Anhand der Daten in der Grafik und Kreuztabelle (Abb. 38 und Tabelle 24) sieht man sehr deutlich, dass bei einem Insertionswinkel von 60° der Anteil an Penetrationen mit steigendem Abstand zunimmt (Abb. 38, blaue Balken: 13 mm = 9,0%, 16 mm = 36,7%, 19 mm = 57,4%, 22 mm = 85,4%, 25 mm = 92,3%). Anders verhält es sich bei einem Insertionswinkel von 70°. Zunächst steigt der Penetrationsanteil mit steigendem Insertionsabstand (Abb. 38, rote Balken: 13 mm = 37,2%, 16 mm = 48,1%), doch ab einem Insertionsabstand von 19 mm sinkt der Anteil an Penetrationen (19 mm = 38,2%, 22mm = 12,2%, 25 mm = 7,7%). Zudem ergeben die Auswertungen, dass bei einem Insertionswinkel von 80° (Abb. 38 grüne Balken: 13 mm = 44,9%, 16 mm = 12,7%, 19 mm = 4,4%, 22 mm = 2,4%, 25 mm = 0,0%) sowie 90° (Abb. 38, lila Balken: 13 mm = 9,0%, 16 mm = 2,5%, 19 mm = 0,0%, 22 mm = 0,0%, 25 mm = 0,0%) der Penetrationsanteil mit zunehmendem Abstand abnimmt (Abb. 33 und Tabelle 24).

5. Ergebnisse

Tabelle 24: Kreuztabelle: Penetrationswahrscheinlichkeit gruppiert nach Insertionswinkel und -abstand.

Insertions- abstand		Insertionswinkel				Gesamt
		60°	70°	80°	90°	
13 mm	Anzahl % innerhalb von Insertionsabstand	7 9,0%	29 37,2%	35 44,9%	7 9,0%	78 100%
16 mm	Anzahl % innerhalb von Insertionsabstand	29 36,7%	38 48,1%	10 12,7%	2 2,5%	79 100%
19 mm	Anzahl % innerhalb von Insertionsabstand	39 57,4%	26 38,2%	3 4,4%	0 0,0%	68 100%
22 mm	Anzahl % innerhalb von Insertionsabstand	35 85,4%	5 12,2%	1 2,4%	0 0,0%	41 100%
25 mm	Anzahl % innerhalb von Insertionsabstand	12 92,3%	1 7,7%	0 0,0%	0 0,0%	13 100%
Gesamt	Anzahl % innerhalb von Insertionsabstand	122 43,7%	99 35,5%	49 17,6%	9 3,2%	279 100%

Tabelle 25: Ergebnisse des Omnibus-Tests: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von drei Prädiktoren.

Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten				
<i>Chi-Quadrat</i>			<i>df</i>	<i>sig.</i>
Schritt 1	Modell	307,168	3	.000

df = degrees of freedom, *sig.* = signifikant

Tabelle 26: Nagelkerkes *R-Quadrat*: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von drei Prädiktoren.

Modellzusammenfassung	
Schritt	Nagelkerkes <i>R-Quadrat</i>
1	,381

5. Ergebnisse

Tabelle 27: Ergebnisse der Regressionsanalyse: Penetrationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von drei Prädiktoren.

		Variablen in der Gleichung			95% Konfidenzintervall für OR	
		Regressionskoeffizient B	sig.	OR	Unterer Wert	Oberer Wert
Schritt 1	Insertionswinkel	,197	.238	1,218	,878	1,689
	Abstand	,430	.002	1,537	1,171	2,017
	Konstante					
	Abstand by Insertionswinkel	-,535	.000	,586	,506	,678
	Kontante	,429	.279	1,536		

sig. = signifikant, OR = Odds Ratio

Die Ergebnisse der multiplen Regression berücksichtigen den Insertionswinkel, den Insertionsabstand sowie die Interaktion zwischen beiden Prädiktoren zusammen betrachtet. Sie zeigen, dass der Insertionswinkel unter Berücksichtigung der beiden anderen Prädiktoren keinen signifikanten Beitrag leistet ($p = .238$), der Abstand ($p = .002$) und die Interaktion ($p > .001$) allerdings schon. Die ausgewerteten Daten ergeben, dass der Abstand ein signifikanter Prädiktor zur Vorhersage der Penetrationswahrscheinlichkeit ist ($p = .002$). Die Ergebnisse fallen aufgrund der Betrachtung von nun drei Prädiktoren anders aus als bei der einzelnen Betrachtung der zwei Prädiktoren. Das *Odds Ratio* von 1,54 bedeutet, dass mit einer Zunahme des Abstandes um jeweils 3 mm, die Wahrscheinlichkeit einer Penetration 1,54-mal so hoch ist, wie zuvor. Die Auswertung der multiplen Regression zeigt, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit mit zunehmendem Abstand zunimmt, wenn man den Insertionswinkel konstant hält. Aufgrund der Tatsache, dass der Insertionswinkel konstant gehalten wird, kann nicht mehr grundlegend gesagt werden, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit mit zunehmendem Abstand abnimmt. Die signifikante Interaktion zwischen beiden Prädiktoren "Abstand by Insertionswinkel" zeigt nun, dass der Einfluss des Insertionswinkels vom Abstand abhängig ist (Tabelle 27). Bereits in der Kreuztabelle (Tabelle 24) konnte gezeigt werden, dass bei einem Insertionsabstand von 13 mm bei allen Insertionswinkeln Penetrationen auftreten, bei 25 mm allerdings fast nur noch bei 60

5. Ergebnisse

Grad. Das *Odds Ratio* von $OR = 0,59$ kann wie folgt interpretiert werden: nehmen Insertionsabstand und Insertionswinkel zu, ist die Penetrationswahrscheinlichkeit nur noch 0,59-mal so hoch wie zuvor (Tabelle 27). Die Penetrationswahrscheinlichkeit nimmt folglich mit zunehmendem Abstand und zunehmendem Insertionswinkel ab. Da bei der multiplen Regression beide Variablen zusammen berücksichtigt werden, ist es wichtig die Kombination aus beiden Variablen zu betrachten und nicht nur eine allein. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Insertionswinkel bei geringem Abstand entscheidender für das Auftreten einer Penetration ist als bei einem großen Abstand.

5.2 Ergebnisse der virtuellen Messungen

5.2.1 Auswertungen der DVT-Aufnahmen

Die Auswertungen der 50 DVT-Aufnahmen haben ergeben, dass 48 Patienten einen Canalis incisivus aufwiesen und zwei Patienten einen zweikanaligen Canalis incisivus hatten (Tabelle 28).

Tabelle 28: Ergebnisse der DVT-Aufnahmen: Kanalanzahl.

Kanalanzahl	Patientenanzahl (n=50)
Einkanalig	48
Zweikanalig	2

n = Anzahl

Im Hinblick auf die Morphologie des Canalis incisivus, konnten in dieser Studie sechs Variationen des Canalis incisivus beobachtet werden. Am häufigsten wurde die normale Kanalform (n=14) identifiziert, gefolgt von der weiten Kanalform (n=13). Die Kanalformen „steil“ (n=8), „eng“ (n=7), „schräg“ (n=5) und „gebogen“ (n=3) wurden ebenfalls erkannt (Abb. 39 und Tabelle 29).

5. Ergebnisse

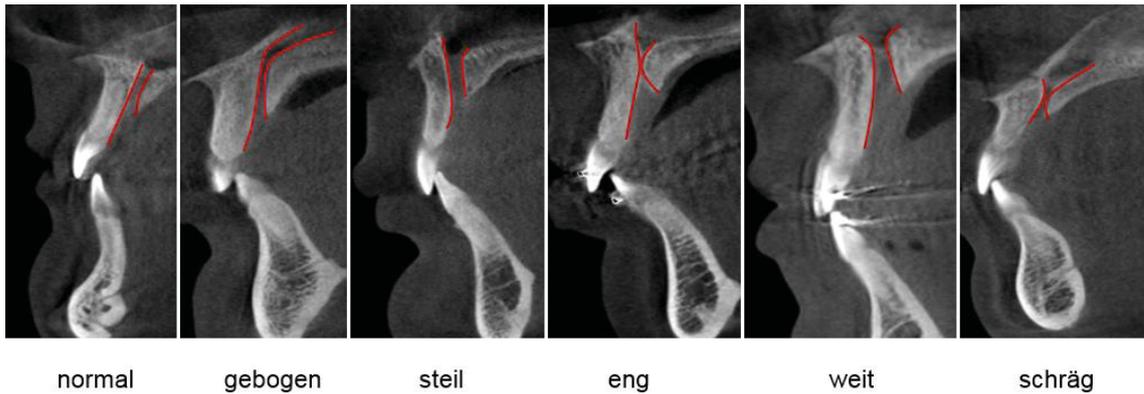


Abb. 39: Sechs Variationen hinsichtlich der Morphologie des Canalis incisivus.

Tabelle 29: Ergebnisse der DVT-Aufnahmen: Kanalform.

Kanalform	Patientenanzahl (n=50)
Normal	14
Gebogen	3
Steil	8
Eng	7
Weit	13
Schräg	5

n = Anzahl

Die Tabelle 30 zeigt, dass sechs Patienten unter 18 Jahre alt waren, 32 Patienten waren in der Altersklasse 18-50 Jahre und 12 Patienten waren älter als 50 Jahre (Tabelle 30).

Tabelle 30: Ergebnisse der DVT-Aufnahmen: Altersklassen.

Altersklassen	Patientenanzahl (n=50)
< 18 Jahre	6
18-50 Jahre	32
> 50 Jahre	12

n = Anzahl

5.2.2 Auswertungen der virtuellen Insertionen

Die Ergebnisse der virtuellen Insertionen bei 50 Oberkiefer-DVT-Aufnahmen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Nach jeder virtuellen Insertion

5. Ergebnisse

mit einem definierten Insertionswinkel und Insertionsabstand, wurde anhand der dreidimensionalen Darstellung bewertet, ob das virtuelle Mini-Implantat den Canalis incisivus penetriert (p), tangiert (t) oder nicht penetriert (np) hat.

Tabelle 31: Ergebnisse der virtuellen Insertionen bei 50-Oberkiefer-DVT-Aufnahmen.

1		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	np	np
	70°	np	t	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np
2		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	p	p	p	p	np
	70°	p	p	t	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np
3		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	p	p	p	np	np
	70°	p	p	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np
4		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	p	np	np	np	np
5		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np
6		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	t	p	p	t	t

5. Ergebnisse

70°	p	p	p	p	np
80°	p	p	p	np	np
90°	t	p	t	np	np

7		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	p	np	np	np	np

8		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

9		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	p	p	np
	70°	np	p	np	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

10		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	t	p	p
	70°	np	t	p	p	np
	80°	p	p	np	np	np
	90°	p	np	np	np	np

11		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

12		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	np	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

5. Ergebnisse

13		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

14		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	p	np	np	np
	90°	t	np	np	np	np

15		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	t	np
	70°	t	p	np	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

16		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	t	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

17		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	np	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

18		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	p	p	np	np	np
	70°	p	np	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

19		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	np	p	p

5. Ergebnisse

70°	np	np	p	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

20		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	p	p	np	np	np
	70°	t	np	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

21		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	np	np
	70°	p	np	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

22		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	np	np
	70°	p	np	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

23		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	p	p	p	np	np
	70°	p	p	np	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

24		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	p
	70°	p	p	p	t	np
	80°	p	t	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

25		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	p	p	t
	70°	np	p	p	np	np
	80°	p	p	np	np	np
	90°	t	np	np	np	np

5. Ergebnisse

26		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	p	p	p	p	np
	70°	p	p	t	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

27		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	p	p	p	np
	70°	p	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	p	np	np	np	np

28		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	p	p	np
	70°	p	p	t	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

29		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	t	p	p
	70°	np	p	p	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

30		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	np	p	np
	70°	p	np	np	np	np
	80°	np	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

31		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	p	p	np
	70°	np	p	np	np	np
	80°	p	np	np	np	np
	90°	np	np	np	np	np

32		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
	60°	np	np	t	p	p

5. Ergebnisse

70°	np	p	p	np	np
80°	p	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

33		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	p	p	p	t	
70°	t	p	t	np	np	
80°	p	np	np	np	np	
90°	np	np	np	np	np	

34		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	p	p	np	np	
70°	p	np	np	np	np	
80°	np	np	np	np	np	
90°	np	np	np	np	np	

35		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	p	p	t	
70°	np	p	p	np	np	
80°	p	t	np	np	np	
90°	np	np	np	np	np	

36		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	t	p	p	t	
70°	t	p	p	np	np	
80°	p	t	np	np	np	
90°	np	np	np	np	np	

37		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	p	p	np	
70°	t	p	np	np	np	
80°	p	np	np	np	np	
90°	np	np	np	np	np	

38		13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	np	p	p	
70°	np	p	p	np	np	
80°	p	p	np	np	np	
90°	np	np	np	np	np	

5. Ergebnisse

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
39 60°	np	t	p	p	p
70°	t	p	p	p	np
80°	p	p	p	np	np
90°	p	p	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
40 60°	np	np	p	p	p
70°	t	p	p	p	np
80°	p	p	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
41 60°	np	np	np	p	p
70°	np	t	p	np	np
80°	t	p	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
42 60°	p	p	np	np	np
70°	p	np	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
43 60°	np	p	p	t	np
70°	p	p	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
44 60°	np	p	p	t	np
70°	p	p	np	np	np
80°	p	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
45 60°	np	p	p	t	np

5. Ergebnisse

70°	p	p	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	p	p	p
70°	t	p	p	np	np
80°	p	p	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	t	p	p	p	np
70°	p	p	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	t	p	p	p
70°	p	p	p	np	np
80°	p	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	p	p	t
70°	np	p	p	np	np
80°	p	t	np	np	np
90°	p	np	np	np	np

	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	np	t	p
70°	np	np	p	p	p
80°	np	p	p	p	np
90°	p	t	np	np	np

np = nicht penetriert, t = tangiert, p = penetriert

Es wurden insgesamt 1000 virtuelle Insertionen durchgeführt. Wie den Tabellen 31 und 32 entnommen werden kann, wird in dieser Studie der Canalis incisivus

5. Ergebnisse

674 mal nicht penetriert, 279 mal penetriert und 47 mal tangiert (Tabelle 31 und 32).

Tabelle 32: Ergebnisse der virtuellen Insertionen bei 50-Oberkiefer-DVT-Aufnahmen.

	1000 virtuelle Insertionen davon
Nicht penetriert	674
Penetriert	279
Tangiert	47

5.2.3 Methodenfehler nach Dahlberg

Beim Ablesen und Auswerten der Ergebnisse können Fehler entstehen, die entsprechend die Aussagekraft der Messungen beeinflussen und verfälschen können. Daher wurde ergänzend zu den erfolgten Messungen, eine zusätzliche unabhängige zweite Messreihe bei zehn zufällig ausgewählten Oberkiefer-Aufnahmen durchgeführt, um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Messmethode zu überprüfen (Tabelle 33). Zur Fehlerberechnung wird die Dahlberg-Formel verwendet $MF = \sqrt{\sum d^2 / 2n}$ (MF = Methodenfehler, d = Differenz aus Ursprungsmessung und der Messwiederholung, n = Anzahl der Messwiederholungen). Bei der zweiten Messreihe wurden die gleiche Reihenfolge und Methodik angewendet. In die Dahlberg-Formel ($MF = \sqrt{\sum d^2 / 2n}$) wurden die Summe der quadratischen Differenz aus der ersten und zweiten Messreihe ($d = 0$) sowie die Anzahl der Messwiederholungen ($n = 200$) eingetragen. Da die Ergebnisse beider Messreihen identisch waren und sich keine Differenzen ergeben haben, lag der Methodenfehler (MF) bei null. Nach Dahlberg liegt eine ausreichende Messgenauigkeit vor, wenn der Methodenfehler unterhalb des Wertes 1 liegt.¹⁵ Somit kann eine ausreichende Genauigkeit hinsichtlich der Messungen belegt werden (Tabellen 31 und 33).

5. Ergebnisse

Tabelle 33: Ergebnisse der Messwiederholungen bei zehn Oberkiefer-DVT-Aufnahmen.

Patient 3	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	p	p	p	np	np
70°	p	p	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 7	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	p	p	p	np
70°	p	p	p	np	np
80°	p	np	np	np	np
90°	p	np	np	np	np

Patient 17	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	p	p	p	np
70°	p	p	np	np	np
80°	p	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 22	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	p	p	np	np
70°	p	np	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 30	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	np	p	np
70°	p	np	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 31	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	p	p	np
70°	np	p	np	np	np
80°	p	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 42	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
------------	-------	-------	-------	-------	-------

5. Ergebnisse

60°	p	p	np	np	np
70°	p	np	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 45	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	p	p	t	np
70°	p	p	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 46	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	np	np	p	p	p
70°	t	p	p	np	np
80°	p	p	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

Patient 47	13 mm	16 mm	19 mm	22 mm	25 mm
60°	t	p	p	p	np
70°	p	p	np	np	np
80°	np	np	np	np	np
90°	np	np	np	np	np

np = nicht penetriert, t = tangiert, p = penetriert

5.3 Zusammenfassung

Bei der medianen Insertion von Mini-Implantaten kann es zur Penetration des Canalis incisivus kommen. Die Messergebnisse und die statistische Auswertung ergeben, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit nicht signifikant abhängig ist von der Anzahl und der Form des Canalis incisivus. Des Weiteren konnte ermittelt werden, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit auch nicht vom Alter der Patienten abhängt. Eine signifikante Abhängigkeit wurde jedoch in Hinblick auf die antero-posteriore Position gefunden. Je weiter posterior inseriert wurde, desto geringer war die Penetrationsrate ($p < .001$). Auch der Insertionswinkel relativ zur

Okklusionsebene zeigte eine signifikante Abhängigkeit. Je kleiner der Winkel gewählt wurde, desto größer war die Wahrscheinlichkeit einer Penetration ($p < .001$). Hinsichtlich der Morphologie des Canalis incisivus, konnten in der vorliegenden Studie durch Auswertung der 50 DVT-Aufnahmen sechs verschiedene Variationen beobachtet werden.

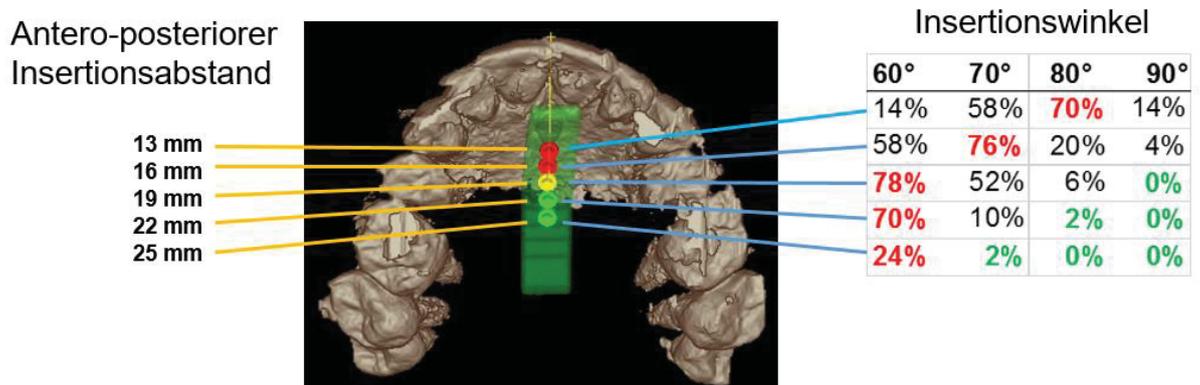


Abb. 40: Ergebnisse der Penetrationsrate; Rot: hohe Penetrationsrate, gelb: mittlere Penetrationsrate, hellgrün: geringe Penetrationsrate.

Die Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse der Penetrationsrate, welche nach dem anterioren und posterioren Insertionsort und Insertionswinkel gruppiert sind. Die maximalen Penetrationsraten sind rot hervorgehoben. Anhand der Abbildung wird die Abhängigkeit vom Insertionswinkel nochmal sehr deutlich. Je kleiner der Insertionswinkel gewählt wird, desto höher ist die Rate der penetrierten Kanäle. An den grün hervorgehobenen Insertionsorten sieht man deutlich kleinere Penetrationsraten (Abb. 40).

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Methoden

In dieser Studie wurde bei Oberkiefer-DVT-Aufnahmen von 50 Patienten der Canalis incisivus dreidimensional dargestellt und hinsichtlich seiner Morphologie kategorisiert. Der Canalis incisivus ist ein knöcherner Kanal und befindet sich in der Medianlinie der Maxilla.^{34, 65} Der Kanal beinhaltet unter anderem den N. nasopalatinus und die Endäste der A. palatina descendens.⁹⁶ An fünf medianen Positionen des anterioren Gaumens wurde eine virtuelle Insertion in je vier Eintrittswinkeln relativ zur Okklusionsebene vorgenommen. Für die medianen Insertionspositionen wurden die Insertionsabstände 13 mm, 16 mm, 19 mm, 22 mm und 25 mm gewählt. Diese wurden von der Schmelz-Zement-Grenze des oberen mittleren Inzisivus bis zur Längsachse des Mini-Implantates gemessen. Die vier Insertionswinkel betragen 60°, 70°, 80° und 90° relativ zur Okklusionsebene. Nach Visualisierung des Canalis incisivus und anschließender 3D-Rekonstruktionen wurde bewertet, ob der Kanal penetriert, tangiert oder nicht penetriert wurde. Statistisch wurde analysiert, ob die Penetrationswahrscheinlichkeit von der Anzahl der Kanäle, von der Kanalform, von der Insertionsposition, vom Insertionswinkel oder vom Alter der Patienten abhängt. In dieser Studie wurden 1000 virtuelle Messungen durchgeführt und hinsichtlich der Invasivität sowie Strahlenbelastung zeigen sich in dieser Studie klare Vorteile gegenüber realen Insertionen an Patienten. Bei einer Betrachtung der Methodik lässt sich hinsichtlich des Versuchsaufbaues kritisch anmerken, dass die Segmentierungen, Messungen sowie Bewertungen in der vorliegenden Studie von einem einzelnen Betrachter durchgeführt wurden. Vor der Segmentierung wurden zunächst die Schichten, in denen der Canalis incisivus identifiziert werden konnte, festgelegt. Anschließend erfolgte dessen manuelle Segmentierung, indem jede knöcherne Konturlinie des Kanals manuell durch den Betrachter selbst definiert wurde. In der Literatur wird angegeben, dass die manuelle Segmentierung sehr zeitaufwendig und fehleranfällig ist.⁹⁵ Durch fehlerhaftes Setzen von Punkten oder auch das manuelle Kor-

6. Diskussion

rigieren von Konturen, können sich in der 3D-Rekonstruktion Unterschiede ergeben und gegebenenfalls zu Fehlmessungen und -interpretationen führen. Ebenso wurden die Referenzlinien „Okklusionsebene“ sowie „Schmelz-Zement-Grenze“ manuell definiert und konstruiert. Das virtuelle Mini-Implantat wurde mit einem Durchmesser von 2 mm und einer Länge von 11 mm konstruiert. Nienkemper et al. beschreiben in ihrer Studie, dass Mini-Implantate mit einer Länge von 11 mm eine hohe Stabilität aufweisen, wenn sie median inseriert werden.⁵⁸ Die Insertionen des virtuellen Mini-Implantates wurden in dieser Studie median im anterioren Gaumen durchgeführt. Der anteriore Gaumen weist ein gutes Knochenangebot sowie eine dünne, befestigte Gingiva auf.^{30, 33, 48, 93} Hinsichtlich der Insertionsposition präferieren Ludwig et al. die paramediane Insertion von Mini-Implantaten.⁵⁰ Wilmes et al. geben in ihrer Studie an, dass die mediane Insertion ein geringeres Risiko für eine Zahnwurzelschädigung darstellt.⁹⁴ Zur präzisen Einhaltung der Insertionsabstände und Insertionswinkel wurden die virtuellen Insertionen durch Einblenden eines Messgitters durchgeführt. Bei der Beurteilung der Ergebnisse wurde nach Betrachtung der dreidimensionalen Ansicht subjektiv bewertet, ob der Kanal penetriert, tangiert oder nicht penetriert wurde. Für die Überprüfung von Fehlmessungen und zur Fehleranalyse wurde die Dahlberg-Formel verwendet. Dabei wurde eine zweite Messreihe mit zehn zufällig ausgewählten Patienten aus dem Patientengut und somit 200 Messungen durchgeführt. Bei der zweiten Messreihe wurden die gleiche Reihenfolge und Methodik angewendet. In die Dahlberg-Formel ($MF = \sqrt{\sum d^2 / 2n}$) wurden die Summe der quadratischen Differenz aus der ersten und zweiten Messreihe ($d = 0$) sowie die Anzahl der Messwiederholungen ($n = 200$) eingetragen. Da die Ergebnisse beider Messreihen identisch waren und sich keine Differenzen ergeben haben, lag der Methodenfehler (MF) bei null. Nach Dahlberg soll der Wert des Methodenfehlers unter 1,0 liegen, um eine ausreichende Messgenauigkeit zu belegen.¹⁵ Somit konnte gezeigt werden, dass die Messungen und Bewertungen in dieser Studie präzise waren. Um Messfehler zu minimieren haben Fernandez-Alonso et al. die zweite Messreihe einen Monat später durch den selben Betrachter wiederholt.¹⁹ Auch Sekerci et al. führten einen Monat später 20% der Messungen erneut mit demselben Untersucher durch.⁷⁵ Thakur et al. und Liang et al. haben hingegen von vornherein die Messungen und Analysen durch zwei Betrachter vornehmen lassen.^{43, 82}

6. Diskussion

Für diese Studie wurden vorhandene DVT-Aufnahmen mit zuvor festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien ausgewählt. Die DVT-Aufnahmen wurden wegen einer anderen Indikation mit dem PaXDuo 3D-Volumen-tomograph (Vatech, Korea) angefertigt. Der Einsatz von DVT-Aufnahmen findet im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung immer mehr Anwendung.⁴⁷ Das Indikationsspektrum für DVT-Aufnahmen reicht von Positionsbestimmungen von verlagerten Zähnen²⁶ über die Beurteilung der Beziehung zu Nachbarstrukturen³⁵ bis hin zur Darstellung des Knochenangebotes.⁵⁵ DVT-Aufnahmen können darüber hinaus auch bei Patienten mit LKG-Spalten Anwendung finden.^{35, 55} Hinsichtlich der Darstellungsqualität von dentalen und knöchernen Strukturen sind Holberg et al. zu dem Ergebnis gekommen, dass CT-Aufnahmen präziser sind. Sie empfehlen auch das CT für die Diagnostik von Ankylosen und Resorptionen.²⁶ Jedoch ist die Strahlenbelastung bei der CT im Vergleich zur DVT höher.^{45, 54} In dieser Studie wurden bereits vorhandene DVT-Aufnahmen mit einem ausreichenden FOV von 85 mm x 85 mm ausgewählt, um eine komplette Darstellung des Canalis incisivus zu gewährleisten. Da es sich bei den untersuchten Aufnahmen um Datensätze handelt, die aufgrund einer anderen rechtfertigenden Indikation angefertigt wurden, sind als Einschränkungen dieser Studie die begrenzte Auflösung und die problematische Wahl der Schicht zu nennen. Die durchschnittliche effektive Dosis bei einem mittleren FOV wird mit 177 µSv angegeben.⁴⁶ In der Literatur finden sich Angaben, dass die effektive Dosis reduziert werden kann. Dazu wählten die Autoren in ihren Studien dosisreduzierte DVT-Geräte mit einem kleinen FOV und einer hohen Auflösung.^{14, 37, 64} Prinzipiell wird empfohlen das Sichtfeld bei DVT-Aufnahmen zu reduzieren, um dementsprechend die Strahlenbelastung zu senken.^{62, 77}

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der statistischen Analyse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Penetration des Canalis incisivus nicht signifikant von der Kanalanzahl abhängt. Das Patientengut wies nur ein- und zweikanalige Canali incisivi auf. In der

6. Diskussion

Literatur wurden darüber hinaus bis zu vier Kanäle beobachtet.⁷⁹ In der vorliegenden Studie wurden DVT-Aufnahmen von sechs Jugendlichen und 44 Erwachsenen ausgewertet. Bezüglich der Wahrscheinlichkeit der Kanalpenetration in Abhängigkeit vom Alter der Patienten wurde keine Signifikanz festgestellt. Jedoch zeigt sich bezogen auf das Alter eine Abhängigkeit im Hinblick auf die Länge⁷ sowie den Durchmesser⁴³ des Canalis incisivus. Einige Autoren beschreiben, dass auch das Geschlecht einen Einfluss auf die Länge des Canalis incisivus ausübt. Sie geben an, dass Männer im Vergleich zu Frauen einen längeren Canalis incisivus haben.^{43, 82, 83} In dieser Studie konnte aufgezeigt werden, dass auch die Kanalform keinen signifikanten Einfluss auf die Penetrationswahrscheinlichkeit hat. Song et al. haben in ihren Untersuchungen vier verschiedene Kanalformen beobachtet.⁷⁹ Die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten belegen, dass das Patientengut sechs verschiedene Kanalformen aufwies. Am häufigsten wurde die normale Kanalform (n=14) beobachtet, gefolgt von den Formen weit (n=13), „steil“ (n=8), „eng“ (n=7), „schräg“ (n=5) und „gebogen“ (n=3). Die morphologischen Variationen des Canalis incisivus sind vielfältig und wurden in diversen Studien mittels DVT oder CT-Aufnahmen untersucht.^{43, 75, 79, 82, 83} Die Ergebnisse dieser Studie konnten zeigen, dass die Penetrationswahrscheinlichkeit statistisch signifikant von der antero-posterioren Position und vom Insertionswinkel abhängt. Die häufigsten virtuellen Penetrationen des Canalis incisivus waren in dieser Studie bei einem kleinen Insertionsabstand und -winkel zu verzeichnen. Die Ergebnisse konnten belegen, dass mit einer Zunahme des Winkels um jeweils zehn Grad, die Wahrscheinlichkeit einer Penetration nur noch 0,41-mal so hoch ist, wie zuvor und dass die Wahrscheinlichkeit einer Penetration mit zunehmendem Insertionswinkel abnimmt. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass mit einer Zunahme des Insertionsabstandes um jeweils 3 mm die Wahrscheinlichkeit einer Penetration nur noch 0,64-mal so hoch ist, wie zuvor. Demgemäß nimmt die Penetrationswahrscheinlichkeit mit zunehmendem Insertionsabstand ab. Chhatwani et al. berichten, dass aufgrund der Nähe des Mini-Implantates zum Nasenboden die Penetration und Schädigung des N. incisivus nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.¹¹ Lake et al. und Schlegel et al. berichten, dass der Kontakt mit Nervengewebe innerhalb des Canalis

6. Diskussion

incisivus zu einer möglichen Non-Osseointegration des Implantates oder zu sensorischen Dysfunktionen führen kann.^{36, 70} Da es sich in dieser Studie um virtuelle Insertionen gehandelt hat, konnte nicht ermittelt werden, wie die subjektive Wahrnehmung nach einer Penetration gewesen wäre. Rettinger et al. geben an, dass Patienten oft nur von temporären Gefühlsstörungen berichtet haben. Dauerhafte Sensibilitätsausfälle sind aber aufgrund der überlappenden Innervation der Gaumenschleimhaut nicht zu erwarten.⁶⁵ Einige Autoren haben in ihren Studien von akzessorischen Knochenkanälchen und Foramina im anterioren Gaumen berichtet.^{16, 56, 76, 87} Aus diesen Kanälchen treten kleine Nervenendigungen und Gefäße aus.¹⁶ Ludwig et al. geben an, dass die Dichte an Gefäßen im anterioren Gaumen gering und deshalb deren Verletzungsgefahr durch die Insertion minimal ist.⁴⁸ Die Nerven sind sehr dünn und es wird vermutet, dass sie bei einer Penetration wohl eher temporär verdrängt werden.⁹⁴ Es ist wichtig die individuellen anatomischen Variationen hinsichtlich der Insertion von Mini-Implantaten im anterioren Gaumen zu kennen.⁵⁶

6.3 Empfehlung für eine zukünftige Studie

Im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung kann je nach Indikation eine paramediane Insertion von Mini-Implantaten erfolgen. Aus der vorliegenden Studie geht hervor, dass sich im anterioren Gaumen paramedian akzessorische Knochenkanälchen und Foramina befinden^{16, 76, 87}, aus denen kleine Nervenendigungen und Gefäße heraustreten.¹⁶ Für eine weitere Studie würden sich die Fragestellungen ergeben, welche Parameter die Penetration der Canaliculi von paramedian inserierten Mini-Implantaten beeinflussen, wie groß die Wahrscheinlichkeit einer Penetration der Canaliculi ist und welche klinischen Schlussfolgerungen daraus gezogen werden können.

6.4 Schlussfolgerung

Mini-Implantate finden in den letzten Jahren immer mehr Anwendung für die skelettale Verankerung während der kieferorthopädischen Behandlung. Im anterioren Gaumenbereich besteht die unmittelbare Nähe zum Foramen incisivum, aus dem unter anderem der N. nasopalatinus tritt. Bei einer medianen Insertion ist die Penetration des Canalis incisivus aufgrund der unterschiedlichen Verlaufsformen des Kanals nicht sicher zu vermeiden. Das Ziel dieser Studie war es zu ermitteln, wie hoch die Wahrscheinlichkeit einer Penetration des Canalis incisivus bei der medianen Insertion von Mini-Implantaten im anterioren Gaumen war. Zudem wurden die unterschiedlichen morphologischen Variationen des Canalis incisivus untersucht. Hinsichtlich der Ergebnisse ist deutlich zu erkennen, dass die morphologischen Variationen des Canalis incisivus vielgestaltig sind. In dieser Studie konnten sechs verschiedene Kanalformen festgestellt werden. Mit Hilfe von virtuellen Insertionen von Mini-Implantaten konnte anhand vorhandener DVT-Aufnahmen eine Penetration des Canalis incisivus dreidimensional visualisiert werden. Die Penetrationswahrscheinlichkeit hängt statistisch signifikant von der antero-posterioren Position ($p < .001$) und vom Insertionswinkel ($p < .001$) ab. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass mit einer Zunahme des Winkels um jeweils zehn Grad, die Wahrscheinlichkeit einer Penetration nur noch 0,41-mal so hoch ist, wie zuvor. Des Weiteren wurde ermittelt, dass mit einer Zunahme des Insertionsabstandes um jeweils 3 mm die Wahrscheinlichkeit einer Penetration nur noch 0,64-mal so hoch ist, wie zuvor. Die Parameter Insertionsabstand und -winkel lassen sich klinisch leicht kontrollieren. Die nur im DVT vollständig darstellbaren morphologischen Variationen des Kanals und das Alter der Patienten hatten hingegen keinen Einfluss auf die Trefferrate. Insofern erweist sich das DVT für die Planung der Implantatinsertion als verzichtbar. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Penetration mit zunehmendem Insertionswinkel und -abstand abnimmt. Demgemäß sollte der Kliniker für die mediane Insertion von Mini-Implantaten bevorzugt einen Insertionswinkel von 80°- 90° relativ zur Okklusionsebene und eine Insertionsposition posterior der Verbindungslinie der ersten Prämolaren bzw. posterior des dritten Gaumenfaltenpaares anstreben, um eine Penetration den Canalis incisivus zu vermeiden.

7. Anhang

7.1 Literaturverzeichnis

- 1 Asaumi, R., Taisuke, K., Iwao, S., Shunji, Y., and Takashi, Y., 'Three-Dimensional Observations of the Incisive Canal and the Surrounding Bone Using Cone-Beam Computed Tomography', *Oral Radiology*, 26 (2010), 20-28.
- 2 Asscherickx, K., Hanssens, J. L., Wehrbein, H. and Sabzevar, M. M., 'Orthodontic Anchorage Implants Inserted in the Median Palatal Suture and Normal Transverse Maxillary Growth in Growing Dogs: A Biometric and Radiographic Study', *Angle Orthod*, 75 (2005), 826-831.
- 3 Baumgaertel, S., 'Cortical Bone Thickness and Bone Depth of the Posterior Palatal Alveolar Process for Mini-Implant Insertion in Adults', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140 (2011), 806-811.
- 4 Baumgaertel, S., Smuthkochorn, S. and Palomo, J. M., 'Intrusion Method for a Single Overerupted Maxillary Molar Using Only Palatal Mini-Implants and Partial Fixed Appliances', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 149 (2016), 411-415.
- 5 Baxmann, M., *Festsitzende Apparaturen Zur Klasse-II-Therapie, Bewährte Methoden Und Neueste Entwicklungen*. Vol. 1, Quintessenz, 2012), 27.
- 6 Beltrami, R., Sfondrini, F., Confalonieri, L., Carbone, L., Bernardinelli, L., 'Miniscrews and Mini-Implants Success Rates in Orthodontic Treatments: A Systematic Review and Meta-Analysis of Several Clinical Parameters. ', *Dentistry*, 5:346 (2015).
- 7 Bornstein, M. M., Balsiger, R., Sendi, P. and von Arx, T., 'Morphology of the Nasopalatine Canal and Dental Implant Surgery: A Radiographic Analysis of 100 Consecutive Patients Using Limited Cone-Beam Computed Tomography', *Clin Oral Implants Res*, 22 (2011), 295-301.
- 8 Chandra, R. K., Rohman, G. T., and Walsh, W. E., 'Anterior Palate Sensory Impairment after Septal Surgery', *Am J Rhinol*, 22 (2008), 86-88.

7. Anhang

- 9 Chen, C. H., Chang, C. S., Hsieh, C. H., Tseng, Y. C., Shen, I. Y. Huang, C. F. Yang, and C. M. Chen, 'The Use of Microimplants in Orthodontic Anchorage', *J Oral Maxillofac Surg*, 64 (2006), 1209-1213.
- 10 Chen, Y. H., H. H. Chang, Y. J. Chen, D. Lee, H. H. Chiang, and C. C. Yao, 'Root Contact During Insertion of Miniscrews for Orthodontic Anchorage Increases the Failure Rate: An Animal Study', *Clin Oral Implants Res*, 19 (2008), 99-106.
- 11 Chhatwani, B., and B. Schneider, 'Maximum Anchorage in Orthodontics with the Palatal Implant: Maximum Anchorage in Orthodontics with the Palatal Implant', *J Orofac Orthop*, 67 (2006), 459-470.
- 12 Cornelis, M. A., N. R. Scheffler, P. Mahy, S. Siciliano, H. J. De Clerck, and J. F. Tulloch, 'Modified Miniplates for Temporary Skeletal Anchorage in Orthodontics: Placement and Removal Surgeries', *J Oral Maxillofac Surg*, 66 (2008), 1439-1445.
- 13 Costa, A., M. Raffaini, and B. Melsen, 'Miniscrews as Orthodontic Anchorage: A Preliminary Report', *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 13 (1998), 201-209.
- 14 Costa, Felipe Ferreira, Bruno Felipe Gaia, Otavio Shoitai Umetsubo, and Marcelo Gusmão Paraiso Cavalcanti, 'Detection of Horizontal Root Fracture with Small-Volume Cone-Beam Computed Tomography in the Presence and Absence of Intracanal Metallic Post', *Journal of Endodontics*, 37 (2011), 1456-1459.
- 15 Dahlberg, G., *Statistical Methods for Medical and Biological Students* (New York: Interscience Publication, 1940).
- 16 de Oliveira-Santos, C., I. R. Rubira-Bullen, S. A. Monteiro, J. E. Leon, and R. Jacobs, 'Neurovascular Anatomical Variations in the Anterior Palate Observed on Cbct Images', *Clin Oral Implants Res*, 24 (2013), 1044-1048.
- 17 Diedrich, P., 'Kieferorthopädische Behandlung Erwachsener.', in *München–Jena: Urban & Fischer*, 2002), 174–208.
- 18 Elias, C. N., A. C. de Oliveira Ruellas, and D. J. Fernandes, 'Orthodontic Implants: Concepts for the Orthodontic Practitioner', *Int J Dent*, 2012 (2012), 549761.

7. Anhang

- 19 Fernandez-Alonso, A., J. A. Suarez-Quintanilla, J. Muinelo-Lorenzo, M. M. Bornstein, A. Blanco-Carrion, and M. M. Suarez-Cunqueiro, 'Three-Dimensional Study of Nasopalatine Canal Morphology: A Descriptive Retrospective Analysis Using Cone-Beam Computed Tomography', *Surg Radiol Anat*, 22 (2014), 22.
- 20 Freitag, V., and U. Dillmann, '[Gustatory Rhinorrhea after Hemiresection of the Maxilla]', *Mund Kiefer Gesichtschir*, 2 (1998), 220-221.
- 21 Glatzmaier, J., H. Wehrbein, and P. Diedrich, '[the Development of a Resorbable Implant System for Orthodontic Anchorage. The Bios Implant System. Bioresorbable Implant Anchor for Orthodontic Systems]', *Fortschr Kieferorthop*, 56 (1995), 175-181.
- 22 Gutwald R, Gellrich NC, Schmelzeisen R. , 'Einführung in Die Zahnärztliche Chirurgie: Für Studium Und Beruf . Deutscher Ärzteverlag (2010), 2. Auflage, 13-23, 45.
- 23 Guyuron, B., B. Michelow, and T. Thomas, 'Gustatory Rhinorrhea--a Complication of Septoplasty', *Plast Reconstr Surg*, 94 (1994), 454-456.
- 24 Haddad, R., and M. Saadeh, 'Distance to Alveolar Crestal Bone: A Critical Factor in the Success of Orthodontic Mini-Implants', *Prog Orthod*, 20 (2019), 019-0273.
- 25 Haßfeld, S., and U. Rother, 'Röntgendiagnostik in Der Mund-, Kiefer- Und Gesichtschirurgie', *Der MKG-Chirurg*, 1 (2008), 137-147.
- 26 Holberg, C., S. Steinhauser, P. Geis, and I. Rudzki-Janson, 'Cone-Beam Computed Tomography in Orthodontics: Benefits and Limitations', *J Orofac Orthop*, 66 (2005), 434-444.
- 27 Hourfar, J., G. Kanavakis, D. Bister, M. Schatzle, L. Awad, M. Nienkemper, C. Goldbecher, and B. Ludwig, 'Three Dimensional Anatomical Exploration of the Anterior Hard Palate at the Level of the Third Ruga for the Placement of Mini-Implants - a Cone-Beam Ct Study', *Eur J Orthod*, 37 (2015), 589-595.
- 28 Huang, H. M., and I. T. Hsiao, 'Accelerating an Ordered-Subset Low-Dose X-Ray Cone Beam Computed Tomography Image Reconstruction with a Power Factor and Total Variation Minimization', *PLoS One*, 11 (2016).

7. Anhang

- 29 Jacobs, R., I. Lambrichts , X. Liang , W. Martens, N. Mraiwa , P. Adriaensens, J. Gelan 'Neurovascularization of the Anterior Jaw Bones Revisited Using High-Resolution Magnetic Resonance Imaging', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* , (2007), 683-693.
- 30 Kang, S., S. J. Lee, S. J. Ahn, M. S. Heo, and T. W. Kim, 'Bone Thickness of the Palate for Orthodontic Mini-Implant Anchorage in Adults', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 131 (2007), 74-81.
- 31 Kanomi, R., 'Mini-Implant for Orthodontic Anchorage', *J Clin Orthod*, 31 (1997), 763-767.
- 32 Keim, R. G., *The Best Places for Miniscrews* J Clin Orthod. (2011) Aug;45(8):421-422.
- 33 Kim, H. J., H. S. Yun, H. D. Park, D. H. Kim, and Y. C. Park, 'Soft-Tissue and Cortical-Bone Thickness at Orthodontic Implant Sites', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130 (2006), 177-182.
- 34 Klaff, D. D., 'The Surgical Anatomy of the Antero-Caudal Portion of the Nasal Septum: A Study of the Area of the Premaxilla', *Laryngoscope*, 66 (1956), 995-1020.
- 35 Korbmacher, H., B. Kahl-Nieke, M. Schollchen, and M. Heiland, 'Value of Two Cone-Beam Computed Tomography Systems from an Orthodontic Point of View', *J Orofac Orthop*, 68 (2007), 278-289.
- 36 Lake, S., J. Iwanaga, S. Kikuta, R. J. Oskouian, M. Loukas, and R. S. Tubbs, 'The Incisive Canal: A Comprehensive Review', *Cureus*, 10 (2018), e3069.
- 37 Landin, M., A. Jadhav, S. Yadav, and A. Tadinada, 'A Comparative Study between Currently Used Methods and Small Volume-Cone Beam Tomography for Surgical Placement of Mini Implants', *Angle Orthod*, 85 (2015), 446-453.
- 38 Lang, J, *Klinische Anatomie Der Nase, Nasenhöhle Und Nebenhöhlen*, Thieme Verlag Stuttgart, (1988), 45.
- 39 Lanz, T. von, Wachsmuth, W *Praktische Anatomie*, Springer, (1985), 186-188.
- 40 Lee, B. H., J. K. Kim, Y. D. Kim, K. Choi, and K. H. Lee, 'In Vivo Behavior and Mechanical Stability of Surface-Modified Titanium Implants by Plasma

7. Anhang

- Spray Coating and Chemical Treatments', *J Biomed Mater Res A*, 69 (2004), 279-285.
- 41 Lee, S. J., S. J. Ahn, J. W. Lee, S. H. Kim, and T. W. Kim, 'Survival Analysis of Orthodontic Mini-Implants', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137 (2010), 194-199.
- 42 Leung, M. T., T. C. Lee, A. B. Rabie, and R. W. Wong, 'Use of Miniscrews and Miniplates in Orthodontics', *J Oral Maxillofac Surg*, 66 (2008), 1461-1466.
- 43 Liang, X., R. Jacobs, W. Martens, Y. Hu, P. Adriaensens, M. Quirynen, and I. Lambrichts, 'Macro- and Micro-Anatomical, Histological and Computed Tomography Scan Characterization of the Nasopalatine Canal', *J Clin Periodontol*, 36 (2009), 598-603.
- 44 Lippert, H., in *Lehrbuch Anatomie* München: Elsevier, Urban & Fischer, (2011), 8. Auflage, 603-604,665.
- 45 Ludlow, J. B., and M. Ivanovic, 'Comparative Dosimetry of Dental Cbct Devices and 64-Slice Ct for Oral and Maxillofacial Radiology', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 106 (2008), 106-114.
- 46 Ludlow, J. B., R. Timothy, C. Walker, R. Hunter, E. Benavides, D. B. Samuelson, and M. J. Scheske, 'Effective Dose of Dental Cbct-a Meta Analysis of Published Data and Additional Data for Nine Cbct Units', *Dentomaxillofac Radiol*, 44 (2015), 20140197.
- 47 Ludlow, J. B., and C. Walker, 'Assessment of Phantom Dosimetry and Image Quality of I-Cat Fix Cone-Beam Computed Tomography', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144 (2013), 802-817.
- 48 Ludwig, B., B. Glasl, S. J. Bowman, B. Wilmes, G. S. Kinzinger, and J. A. Lisson, 'Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites', *J Clin Orthod*, 45 (2011), 433-441; quiz 467.
- 49 Ludwig, B., Glasl., B., 'Selbstligierende Brackets: Konzepte Und Behandlung', (2009), 200.
- 50 Ludwig, B., B. U. Zachrisson, and M. Rosa, 'Non-Compliance Space Closure in Patients with Missing Lateral Incisors', *J Clin Orthod*, 47 (2013), 180-187.

7. Anhang

- 51 Mardinger, O., N. Namani-Sadan, G. Chaushu, and D. Schwartz-Arad, 'Morphologic Changes of the Nasopalatine Canal Related to Dental Implantation: A Radiologic Study in Different Degrees of Absorbed Maxillae', *J Periodontol*, 79 (2008), 1659-1662.
- 52 Melsen, B., and C. Bosch, 'Different Approaches to Anchorage: A Survey and an Evaluation', *Angle Orthod*, 67 (1997), 23-30.
- 53 Mohammed, H., K. Wafaie, M. Z. Rizk, M. Almuzian, R. Sosly, and D. R. Bearn, 'Role of Anatomical Sites and Correlated Risk Factors on the Survival of Orthodontic Miniscrew Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Prog Orthod*, 19 (2018), 018-0225.
- 54 Mozzo, P., C. Procacci, A. Tacconi, P. T. Martini, and I. A. Andreis, 'A New Volumetric Ct Machine for Dental Imaging Based on the Cone-Beam Technique: Preliminary Results', *Eur Radiol*, 8 (1998), 1558-1564.
- 55 Müssig, E., R. Wortche, and C. J. Lux, 'Indications for Digital Volume Tomography in Orthodontics', *J Orofac Orthop*, 66 (2005), 241-249.
- 56 Neves, F. S., L. K. Oliveira, A. C. Ramos Mariz, I. Crusoe-Rebello, and C. de Oliveira-Santos, 'Rare Anatomical Variation Related to the Nasopalatine Canal', *Surg Radiol Anat*, 35 (2013), 853-855.
- 57 Nienkemper, M., A. Pauls, B. Ludwig, and D. Drescher, 'Stability of Paramedian Inserted Palatal Mini-Implants at the Initial Healing Period: A Controlled Clinical Study', *Clin Oral Implants Res*, 26 (2015), 870-875.
- 58 Nienkemper, M., B. Wilmes, A. Pauls, and D. Drescher, 'Impact of Mini-Implant Length on Stability at the Initial Healing Period: A Controlled Clinical Study', *Head Face Med*, 9 (2013), 9-30.
- 59 Nienkemper, M., Wilmes, B., Pauls, A., Drescher, D., 'Multipurpose Use of Orthodontic Mini-Implants to Achieve Different Treatment Goals', *J Orofac Orthop*, 73 (2012), 467-476.
- 60 Papageorgiou, S. N., I. P. Zogakis, and M. A. Papadopoulos, 'Failure Rates and Associated Risk Factors of Orthodontic Miniscrew Implants: A Meta-Analysis', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 142 (2012), 577-595.
- 61 Paulsen, F., Waschke, J., 'Sobotta Atlas Der Anatomie, Elsevier, 24. Auflage (2017), 29-30, 98.

7. Anhang

- 62 Pauwels, R., J. Beinsberger, B. Collaert, C. Theodorakou, J. Rogers, A. Walker, L. Cockmartin, H. Bosmans, R. Jacobs, R. Bogaerts, and K. Horner, 'Effective Dose Range for Dental Cone Beam Computed Tomography Scanners', *Eur J Radiol*, 81 (2012), 267-271.
- 63 Poon, Y. C., H. P. Chang, Y. C. Tseng, S. T. Chou, J. H. Cheng, P. H. Liu, and C. Y. Pan, 'Palatal Bone Thickness and Associated Factors in Adult Miniscrew Placements: A Cone-Beam Computed Tomography Study', *Kaohsiung J Med Sci*, 31 (2015), 265-270.
- 64 Qu, X. M., G. Li, J. B. Ludlow, Z. Y. Zhang, and X. C. Ma, 'Effective Radiation Dose of Promax 3d Cone-Beam Computerized Tomography Scanner with Different Dental Protocols', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 110 (2010), 770-776.
- 65 Rettinger, G., and S. Engelbrecht-Schnur, '[Palatal Sensory Impairment after Setoplasty]', *Laryngorhinootologie*, 74 (1995), 282-285.
- 66 Rodriguez, Juan C., Fernando Suarez, Hsun-Liang Chan, Miguel Padiar-Molina, and Hom-Lay Wang, 'Implants for Orthodontic Anchorage: Success Rates and Reasons of Failures', *Implant Dentistry*, 23 (2014), 155-161.
- 67 Sadeghi, H. M., S. Siciliano, and H. Reychler, 'Gustatory Rhinorrhea after Maxillectomy. Two Case Reports and Considerations on Etiology and Pathophysiology', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 26 (1997), 124-126.
- 68 Sander, F., Schwenzer, N., Ehrenfeld, M., 'Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie ', Thieme Verlag, (2011), 357.
- 69 Schatzle, M., R. Mannchen, M. Zwahlen, and N. P. Lang, 'Survival and Failure Rates of Orthodontic Temporary Anchorage Devices: A Systematic Review', *Clin Oral Implants Res*, 20 (2009), 1351-1359.
- 70 Schlegel, K. A., F. Kinner, and K. D. Schlegel, 'The Anatomic Basis for Palatal Implants in Orthodontics', *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 17 (2002), 133-139.
- 71 Schulze, Dirk, and Gerhard Hoffmann, 'Dentale Digitale Volumentomographie (DVT) Und Navigation', in *Medizintechnik*, ed. by Rüdiger KrammeSpringer Berlin Heidelberg, (2011), 409-416.

7. Anhang

- 72 Schulze, R., 'Dentale Volumentomographie (Dvt) – Grundlagen <http://www.lowdosedvt.de/media/document/dvtgrundlagen.pdf>, (2009), abgerufen am 10. Mai 2018
- 73 Schulze, R., 'Dreidimensionales Röntgen in Der Zahnheilkunde', *Der Freie Zahnarzt*, Springer Verlag, 55 (2011), 76-85.
- 74 Schulze, R., 'Dentale Digitale Volumentomographie – Aktueller Stand', *Zahnmedizin up2date*, Thieme Verlag, 7 (2013), 227-241.
- 75 Sekerci, A. E., S. K. Buyuk, and K. Cantekin, 'Cone-Beam Computed Tomographic Analysis of the Morphological Characterization of the Nasopalatine Canal in a Pediatric Population', *Surg Radiol Anat*, 4 (2014), 4.
- 76 Sekerci, A. E., K. Cantekin, and M. Aydinbelge, 'Cone Beam Computed Tomographic Analysis of Neurovascular Anatomical Variations Other Than the Nasopalatine Canal in the Anterior Maxilla in a Pediatric Population', *Surg Radiol Anat*, 1 (2014), 1.
- 77 Signorelli, L., R. Patcas, T. Peltomaki, and M. Schatzle, 'Radiation Dose of Cone-Beam Computed Tomography Compared to Conventional Radiographs in Orthodontics', *J Orofac Orthop*, 77 (2016), 9-15.
- 78 Solomon, E. G., and K. S. Arunachalam, 'The Incisive Papilla: A Significant Landmark in Prosthodontics', *J Indian Prosthodont Soc*, 12 (2012), 236-247.
- 79 Song, W. C., D. I. Jo, J. Y. Lee, J. N. Kim, M. S. Hur, K. S. Hu, H. J. Kim, C. Shin, and K. S. Koh, 'Microanatomy of the Incisive Canal Using Three-Dimensional Reconstruction of MicroCT Images: An Ex Vivo Study', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 108 (2009), 583-590.
- 80 Standring, S., *Gray'S Anatomy*. 39th edn Edinburgh: Churchill Livingstone, 2005), 583-584.
- 81 Takaki, T., N. Tamura, M. Yamamoto, N. Takano, T. Shibahara, T. Yasumura, Y. Nishii, and K. Sueishi, 'Clinical Study of Temporary Anchorage Devices for Orthodontic Treatment--Stability of Micro/Mini-Screws and Mini-Plates: Experience with 455 Cases', *Bull Tokyo Dent Coll*, 51 (2010), 151-163.

7. Anhang

- 82 Thakur, A. R., K. Burde, K. Guttal, V. Naikmasur, 'Anatomy and Morphology of the Nasopalatine Canal Using Cone-Beam Computed Tomography', *Imaging Science Dentistry*, 2013 (2013), 273-281.
- 83 Tozum, T. F., G. N. Guncu, Y. D. Yildirim, H. G. Yilmaz, P. Galindo-Moreno, M. Velasco-Torres, K. Al-Hezaimi, R. Al-Sadhan, E. Karabulut, and H. L. Wang, 'Evaluation of Maxillary Incisive Canal Characteristics Related to Dental Implant Treatment with Computerized Tomography: A Clinical Multicenter Study', *J Periodontol*, 83 (2012), 337-343.
- 84 Triaca, A., M. Antonini, and E. Wintermantel, 'Ein Neues Titan-Flachschrauben-Implantat Zur Orthodontischen Verankerung Am Anterioren Gaumen', *Inf Orthod Kieferorthop*, 24 (1992), 251-257.
- 85 Tseng, Y. C., C. H. Hsieh, C. H. Chen, Y. S. Shen, I. Y. Huang, and C. M. Chen, 'The Application of Mini-Implants for Orthodontic Anchorage', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 35 (2006), 704-707.
- 86 Viwattanatipa, N., S. Thanakitcharu, A. Uttraravichien, and W. Pitiphat, 'Survival Analyses of Surgical Miniscrews as Orthodontic Anchorage', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136 (2009), 29-36.
- 87 von Arx, T., S. Lozanoff, P. Sendi, and M. M. Bornstein, 'Assessment of Bone Channels Other Than the Nasopalatine Canal in the Anterior Maxilla Using Limited Cone Beam Computed Tomography', *Surg Radiol Anat*, 35 (2013), 783-790.
- 88 Wehrbein, H., and P. Gollner, 'Skeletal Anchorage in Orthodontics--Basics and Clinical Application', *J Orofac Orthop*, 68 (2007), 443-461.
- 89 Wilmes, B., 'Fields of Application of Mini-Implants. In: Ludwig B, Baumgaertl S, Bowmann J (Eds) Mini-Implants in Orthodontics: Innovative Anchorage Concepts', *Quintessence, Berlin* (2008), 99-122.
- 90 Wilmes, B., and D. Drescher, 'Application and Effectiveness of the Beneslider: A Device to Move Molars Distally', *World J Orthod*, 11 (2010), 331-340.
- 91 Wilmes, B., Drescher, D., 'Vertical Periodontal Ligament Distraction--a New Method for Aligning Ankylosed and Displaced Canines', *J Orofac Orthop*, 70 (2009), 213-223.

7. Anhang

- 92 Wilmes, B., M. Nienkemper, and D. Drescher, 'Application and Effectiveness of a Mini-Implant- and Tooth-Borne Rapid Palatal Expansion Device: The Hybrid Hyrax', *World J Orthod*, 11 (2010), 323-330.
- 93 Wilmes, B., C. Rademacher, G. Olthoff, and D. Drescher, 'Parameters Affecting Primary Stability of Orthodontic Mini-Implants', *J Orofac Orthop*, 67 (2006), 162-174.
- 94 Wilmes, B., J. Willmann, B. Stocker, and D. Drescher, 'Mini-Implantate Zur Kieferorthopädischen Verankerung Im Anterioren Gaumen, Mediane Vs. Paramediane Insertion', *Inf Orthod Kieferorthop*, 47 (2015), 243-248.
- 95 Zandt, B. J., A. Losnegard, E. Hodneland, M. L. Veruki, A. Lundervold, and E. Hartveit, 'Semi-Automatic 3d Morphological Reconstruction of Neurons with Densely Branching Morphology: Application to Retinal Aii Amacrine Cells Imaged with Multi-Photon Excitation Microscopy', *J Neurosci Methods*, 279 (2017), 101-118.
- 96 Zilles K., Tillmann, B., 'Anatomie', Heidelberg: Springer, (2010), 433.

7. Anhang

7.2 Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Professor Dr. Dieter Drescher für die freundliche Überlassung des Promotionsthemas. Die stets hilfreiche und zielführende wissenschaftliche Betreuung sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen machten die Arbeit an der vorliegenden Studie erst möglich.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Sylvia Neuber von der Firma IVS Technology, die mir durch ihre Hilfsbereitschaft bei der Einführung der VoXim® osteo-Software und bei allen technischen Fragen eine große Hilfe war.

Mein Dank gilt außerdem meiner Freundin Dr. Cate-Emilia Schwartz, die mir stets mit ihren Ratschlägen und motivierenden Worten beiseite stand.

Und nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern, meinem Mann und meinen beiden Söhnen für die Motivation, das Verständnis und die Geduld. Ihr habt mir stets den Rücken freigehalten und so viel Kraft, Rückhalt und Liebe gegeben.