

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin
Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin

DISSERTATION

Digitale Vermessung
des Oberkieferalveolarknochens
zur Bestimmung des Platzangebotes für
kieferorthopädische
Verankerungspins

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Jan-Hendrik Hollenstein
aus Berlin

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann
 2. Prof. Dr. Dr. B. Hoffmeister
 3. Prof. Dr. S. Kopp

Datum der Promotion: 09.09.2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Struktur des Alveolarknochens	3
1.2. Kieferorthopädische Verankerungspins	4
1.4. Digitale Volumentechologie	5
1.5. SimPlant®	7
2. Fragestellung	9
2.1. Hypothesen zum interradikulären Knochenangebot	9
2.2. Hypothesen zur Kortikalisdicke	10
2.3. Hypothesen zur Alveolarfortsatzbreite	10
2.4. Hypothesen zur Perforation der Kieferhöhle	11
3. Materialien und Methoden	12
3.1. Allgemeine Methoden	12
3.2. Spezielle Methoden	14
3.2.1. Interradikuläres Knochenangebot	14
3.2.1.1. Unterschiede zwischen Interradikularräumen	14
3.2.1.1.1. Prozentuale Auswertung	15
3.2.1.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	15
3.2.1.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	16
3.2.1.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	16
3.2.1.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	17
3.2.1.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	17
3.2.2. Dicke der Kortikalis	18
3.2.2.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	18
3.2.2.1.1. Prozentuale Auswertung	20
3.2.2.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	20
3.2.2.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	20
3.2.2.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	20
3.2.2.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	20
3.2.2.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	20

3.2.3. Breite des Alveolarfortsatzes	21
3.2.3.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	21
3.2.3.1.1. Prozentuale Auswertung	22
3.2.3.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	22
3.2.3.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	22
3.2.3.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	22
3.2.3.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	22
3.2.3.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	22
3.2.4. Perforation der Kieferhöhle	23
3.2.5. Fehlerberechnung	24
3.2.6. Grafische Darstellung	24
4. Ergebnisse	25
4.1. Interradikuläres Knochenangebot	25
4.1.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	25
4.1.1.1. Prozentuale Auswertung	28
4.1.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	31
4.1.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	32
4.1.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	32
4.1.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	35
4.1.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	35
4.2. Dicke der Kortikalis	37
4.2.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	37
4.2.1.1. Prozentuale Auswertung	40
4.2.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	43
4.2.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	43
4.2.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	44
4.2.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	47
4.2.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	50
4.3. Breite des Alveolarfortsatzes	51
4.3.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	51
4.3.1.1. Prozentuale Auswertung	51
4.3.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	55
4.3.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	55
4.3.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	56
4.3.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	59
4.3.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	59

4.4. Perforation der Kieferhöhle	60
4.5. Fehlerberechnung	61
5. Diskussion	62
5.1. Interradikuläres Knochenangebot	63
5.1.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	63
5.1.1.1. Prozentuale Auswertung	65
5.1.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	66
5.1.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	66
5.1.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	67
5.1.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	67
5.1.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	68
5.2. Dicke der Kortikalis	69
5.2.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	69
5.2.1.1. Prozentuale Auswertung	70
5.2.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	71
5.2.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	71
5.2.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	72
5.2.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	72
5.2.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	73
5.3. Breite des Alveolarfortsatzes	74
5.3.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen	74
5.3.1.1. Prozentuale Auswertung	74
5.3.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte	75
5.3.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern	75
5.3.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen	76
5.3.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen	76
5.3.4.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen	77
5.4. Perforation der Kieferhöhle	78
6. Schlussfolgerung	79
7. Zusammenfassungen	81
7.1. Zusammenfassung	81
7.2. Summary	82

8. Literaturverzeichnis	84
9. Anhang	94
9.1. Materialliste	94
9.2. Danksagung	94
9.3. Lebenslauf	95

1. Einleitung

Kieferorthopädische Verankerungspins sind Schrauben einer Titanlegierung mit einem Durchmesser von 1,2-2 mm und einer Länge von 4-10 mm. In der Literatur werden sie häufig auch als Verankerungs- oder Kortikalisschrauben sowie als Verankerungs-, Mini- und Mikroimplantate bezeichnet. Sie finden zunehmend Anwendung zur maximalen Verankerung in der Kieferorthopädie (KANOMI 1997, LEE et al. 2001, PARK et al. 2003, CHENG et al. 2004, PARK et al. 2004, YAO 2004, PARK et al. 2006, CHUNG et al. 2010, HYUN und KIM 2010, JOHNSON und BULLOCK 2010). Einige Faktoren haben nach aktuellem Literaturstand einen besonders großen Einfluss auf die erfolgreiche Insertion. Der interradiäre Abstand, die Dicke der Kortikalis, die Seite des Kiefers, ob im Ober- oder Unterkiefer inseriert wird und ob Entzündungen vorliegen, scheinen die kritischen Faktoren für die Überlebensrate von Verankerungspins zu sein. Bei Berührung oder Perforation des Parodontalspalts durch einen Verankerungspin beobachteten KURODA et al. (2007) eine signifikant ($p < 0,05$) geringere Erfolgsquote. MOTOYOSHI et al. (2008) stellten fest, dass bei einer Kortikalisdicke von mehr als 1 mm Verankerungspins eine wesentlich geringere Verlustrate aufwiesen. Insertionen im Oberkiefer zeigen signifikant ($p < 0,05$) höhere Erfolge als im Unterkiefer, ebenso ist die linke Seite signifikant ($p < 0,05$) erfolgreicher als die rechte, Verankerungspins mit Entzündungen der umgebenden Strukturen sind dagegen signifikant ($p < 0,05$) kürzer in situ (PARK et al. 2006). Im Gegensatz zu COSTA et al. (1998), in deren Patientenbeispiel die Pins unterhalb der Zahnwurzeln platziert wurden, setzten KANOMI (1997), LEE et al. (2001), PARK et al. (2004) und PARK et al. (2006) erfolgreich Verankerungspins mit einem Durchmesser von 1,2 mm im interradiären Bereich des Alveolarknochens, um eine vertikale Belastung der Zähne zu umgehen.

Es sind diverse Systeme auf dem Markt, die sich in Länge, Durchmesser, Oberflächenbeschaffenheit, Schrauben- und Abutmentdesign unterscheiden. Gaumenimplantate weisen eine osseokonduktive Oberfläche auf und es wird meist eine Einheilzeit von ca. 1-3 Monaten abgewartet (JUNG et al. 2008, TAKAKI et al. 2010). GÖLLNER et al. (2009) hingegen setzten Gaumenimplantate einer sofortigen Belastung aus ohne signifikant ($p < 0,05$) erhöhte Verlustraten gegenüber der Kontrollgruppe, welche nach 3 Monaten belastet wurden. Bei interradiär platzierten Verankerungspins hat sich eine glatte Oberfläche etabliert mit der Möglichkeit einer sofortigen Belastung (LIETZ und MÜLLER-HARTWICH 2006). Dabei ist eine ausreichende Stabilität und Osseointegration gewährleistet (ROMANOS et al. 2001, ZHANG et al. 2010). Die Anforderungen umfassen Biokompatibilität sowie ausreichende Stabilität, um die

angelegten Kräfte auf den Kieferknochen zu übertragen und eine einfache Handhabung sowohl beim Setzen und Entfernen als auch während der eigentlichen kieferorthopädischen Behandlung. Bei der interradiikulären Insertion ergibt sich die Gefahr einer Perforation des Parodonts bzw. des Verletzens einer Zahnwurzel. Die Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten ist folglich von großer Bedeutung. Die aktuelle Literatur beinhaltet wenige Studien, die umfassende Untersuchungen mit einer repräsentativ hohen Patientenzahl aufweisen. Die vorliegende Studie soll dem Kliniker Anhaltspunkte bei der Entscheidung eines geeigneten Insertionsortes von kieferorthopädischen Verankerungspins geben.

In der Literatur sind stark divergierende Ergebnisse bezüglich des interradiikulären Platzangebotes, der Dicke der Kortikalis und der buccopalatinalen Ausdehnung des Alveolarfortsatzes zu finden.

Während LEE et al. (2009) im Oberkiefer zwischen dem 2. Prämolaren und dem 1. Molaren auf unterschiedlichen Messhöhen Werte zum durchschnittlichen interradiikulären Platzangebot von 2,49 mm bis 3,98 mm angaben, berichteten SCHNELLE et al. (2004) von mehr als 4 mm interradiikulärem Knochenangebot bei 76,7% der untersuchten Abstände. Wenn auch nicht direkt mit der Studie von LEE et al. (2009) vergleichbar, erscheint dieser Wert sehr hoch. PARK und CHO (2009) erhielten in der gleichen Region Ergebnisse lediglich zwischen 2,4 mm und 3,3 mm, dies stellt wiederum einen deutlichen Unterschied zu der Studie von LEE et al. (2009) dar.

ONO et al. (2008) fanden zwischen dem ersten und zweiten Molaren des Oberkiefers eine Kortikalisdicke von 1,24 mm bis 1,53 mm, während KIM et al. (2006) 0,82 mm bis 0,94 mm feststellten. In der Studie nach MOTOYOSHI et al. (2008), die signifikant ($p < 0,05$) höhere Erfolge bezüglich der Überlebensrate von Verankerungspins erzielten bei einer Kortikalisstärke von mehr als 1 mm, ergibt sich ein fundamentaler Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden genannten Studien.

Gravierende Differenzen der Studienergebnisse sind ebenfalls bei der buccopalatinalen Ausdehnung des Alveolarfortsatzes zu finden. Der Mittelwert zwischen dem 2. oberen Prämolaren und dem 1. Molaren 8 mm apikal des Alveolarkamms betrug bei POGGIO et al. (2006) 10,2 mm, ISHII et al. (2004) dagegen gaben Werte zwischen 10,8 mm und 17,6 mm an.

Zu der kaudalen Ausdehnung der Kieferhöhle werden nur sehr vage Aussagen getroffen. So erklärten POGGIO et al. (2006) lediglich, dass die Kieferhöhle bei Messungen des buccopalatinalen und mesiodistalen Knochenangebots des Alveolarknochens 11 mm apikal des Alveolarkamms häufig vorhanden war. ISHII et al. (2004) berichteten, dass bei 3 von 5 Messungen in einer Entfernung von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze die Kieferhöhle

erreicht wurde. Eine genauere Messung als in den oben genannten Studien ist daher wünschenswert.

Das Ziel dieser Studie ist anhand einer repräsentativ hohen Zahl von Patienten sowohl die interradikulären Platzverhältnisse, als auch die Dicke der buccalen und palatinalen Kortikalis und die transversale Ausdehnung des Alveolarfortsatzes zu bestimmen. Ferner soll der Einfluss der Kieferhöhle auf die räumlichen Knochenverhältnisse im Alveolarfortsatz untersucht werden.

1.1. Struktur des Alveolarknochens

Im menschlichen Körper werden lange Knochen (z. B. Humerus), kurze Knochen (z. B. Handwurzelknochen), platte Knochen (z. B. Scapula) und lufthaltige Knochen (z.B. Oberkiefer) unterschieden. Die lufthaltigen Knochen zeichnen sich durch einen mit Schleimhaut ausgekleideten Hohlraum aus.

Makroskopisch lässt sich die dichte äußere Substantia compacta (Kompakta oder Kortikalis) von der inneren, aus Knochenbälkchen bestehenden Substantia spongiosa (Spongiosa) unterscheiden. Nach außen wird der Knochen durch das Periost umschlossen, welches aus zwei Anteilen besteht, dem äußeren Stratum fibrosum und der darunterliegenden Kambiumschicht. Während sich das Stratum fibrosum derbe darstellt und mit Sharpey'schen Fasern am Knochen befestigt ist, bildet die Kambiumschicht den regenerativen Anteil des Periosts. Sie enthält osteoblastische Stammzellen, die als differenzierte Osteoblasten im jugendlichen Alter für das Breitenwachstum zuständig sind und im erwachsenen Alter bei der Frakturheilung eine entscheidende Rolle spielen. Des Weiteren verlaufen Gefäße und Nerven im Periost, die eine nutritive und sensorische Funktion erfüllen. Knochengewebe besteht einerseits aus einem zellulären Anteil, den Osteoblasten, Osteozyten und Osteoklasten, andererseits aus einer Extrazellulärmatrix, die wiederum aus Kollagenfibrillen und Hydroxylapatit-Kristallen besteht.

Der Oberkiefer wird in einen Corpus und vier Fortsätze unterteilt, den Proc. frontalis, Proc. zygomaticus, Proc. palatinus und den Proc. alveolaris. Den pneumatisierten Anteil des Corpus stellen die Sinus maxillares dar. Die Zähne sind in den Proc. alveolaris durch eine bindegewebige Verankerung aufgenommen (MOLL und MOLL 2002, LÜLLMANN-RAUCH 2003).

1.2. Kieferorthopädische Verankerungspins

Kieferorthopädische Verankerungspins (Abb. 1) stellen besonders im Bereich der Non-Compliance-Apparaturen einen festen Therapiebestandteil dar und ermöglichen auch unter schwierigsten Verankerungsbedingungen einen Therapieerfolg (MÜLLER-HARTWICH et al. 2006, KIM et al. 2010, UPADHYAY et al. 2010). Malokklusionen, die bislang durch eine kombinierte kieferorthopädische und operative Therapie behandelt wurden, können zunehmend rein kieferorthopädisch durch den Einsatz von Verankerungspins therapiert werden (LIN et al. 2010). Durch die Insertion im Alveolarknochen (Abb. 2) werden reaktive Kräfte absorbiert und auf den Knochen übertragen (LUDWIG et al. 2010). Im Gegensatz zur Verankerung an Zähnen kommt es nicht zu unerwünschten Zahnwanderungen (PARK und OH 2010). Durch den Einsatz von Verankerungspins können größere Diskrepanzen korrigiert werden, als dies mit herkömmlicher Verankerung möglich ist (LEUNG et al. 2008). Zusätzlich kann die Therapiedauer reduziert werden bei gleichzeitig erhöhtem Therapieerfolg gegenüber extraoralen Apparaturen (YAO et al. 2008).

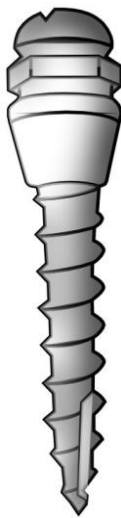


Abb. 1:
tomas® Pin, Beispiel eines kiefer-
orthopädischen Verankerungspins

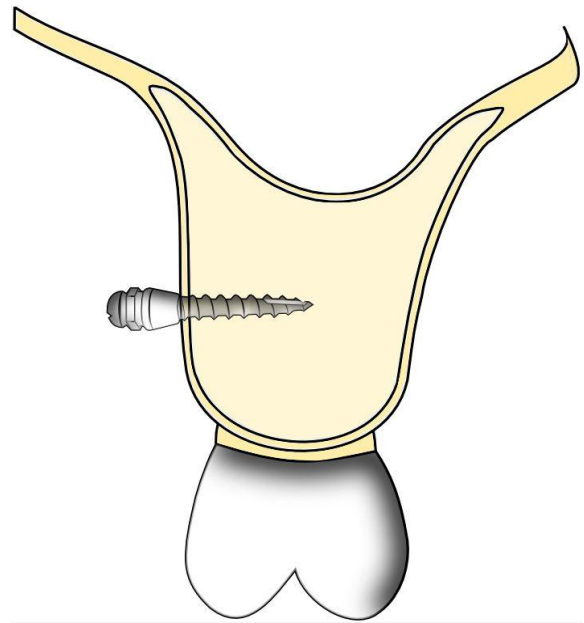


Abb. 2:
Pin in situ (Frontalschnitt)

Die heute verwendeten Verankerungspins unterscheiden sich in Form, Durchmesser, Länge, Oberflächenbeschaffenheit, Legierung und im Abutmentdesign. Die gängigen Verankerungspin-Systeme haben einen Durchmesser von 1,2-2 mm und eine Länge von 4-10 mm. Selbstschneidende Verankerungsschrauben weisen einen hohen Knochenkontakt auf,

erfordern beim Vorhandensein einer dicken Kortikalis jedoch eine Pilotbohrung, um eine Fraktur des Pins zu vermeiden (CHEN et al. 2010). Auch BAUMGAERTEL (2010) schlug eine Perforation der Kortikalis vor bei einer Kortikalisstärke von 1,5-2,5 mm und eine Pilotbohrung ab 2,5 mm, um exzessive Drehmomente zu vermeiden. Verankerungspins zeigen mit zunehmender Konizität und mit steigendem Durchmesser vermehrt Spannungsrisse der umgebenden Kortikalis (LEE et al. 2010). Inwieweit diese Tatsache die Erfolgsrate beeinflusst, ist bislang nicht untersucht. Das subjektive Schmerzempfinden während der Insertion ist gering (BAXMANN et al. 2010). Ein Großteil der angebotenen Verankerungspins besteht aus einer Titanlegierung (Titan Grad V: Ti-6Al-4V) (WILMES und DRESCHER 2009). Durch Korrosion systemisch freigesetzte Metallionen unterschreiten signifikant ($p < 0,05$) die durch die Nahrung oder Trinkwasser aufgenommene Menge (de MORAIS et al. 2009). Verankerungspins ähneln Osteosyntheseschrauben mit dem Unterschied der an die Kieferorthopädie angepassten Kopfform, wie Ösen, Haken und bracketähnliche Konfigurationen (MÜLLER-HARTWICH et al. 2006). Die Oberflächenbeschaffenheit der Verankerungsschrauben differiert je nach Insertionsstelle. Gaumenimplantate weisen ähnlich wie prothetische Implantate meist eine osseokonduktive Oberfläche auf und eine Osseointegration ist erwünscht (CRISMANI et al. 2005). Interradikulär platzierte Verankerungspins dagegen weisen eine glatte Oberfläche auf und es wird eine rein ossäre Verankerung angestrebt. Bei Bedarf können sie einer sofortigen Belastung ausgesetzt werden (LIETZ und MÜLLER-HARTWICH 2006, ZHANG et al. 2010), die gegenüber Verankerungspins mit einer Einheilphase histologisch keine statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede aufweisen. Insgesamt kann sogar eine erhöhte Knochenanlagerung bei sofortiger Belastung erzielt werden (SERRA et al. 2010).

1.2. Digitale Volumenthechnologie

Die digitale Volumenthechnologie (DVT) ist ein bildgebendes Verfahren, das häufig in der Diagnostik des craniomaxillären Systems Verwendung findet (MOZZO et al. 1998, SUKOVIC 2003, LASCALA et al. 2004, SCARFE et al. 2006, PELTONEN et al. 2009). Es werden kegelförmig ausgerichtete Röntgenstrahlen genutzt („Cone Beam“), die ähnlich dem Prinzip eines Spiral-CTs als eine Sender-Detektor-Einheit bis zu 360° um den Patientenkopf rotieren (Abb. 3). Der Unterschied besteht einerseits in dem dreidimensionalen Nutzstrahlenbündel und andererseits in der flächigen Empfänger-Matrix in Form eines CCD-Chips, wodurch ein zweidimensionales Bild bei jeder Projektionsaufnahme entsteht. Aus der eindimensionalen Darstellung eines Spiral-CTs ergeben sich einzelne Schnittbilder, während die zweidimensionale

Darstellung des DVTs ein Volumen erfasst bei lediglich einer Rotation. Dabei kann eine Auflösung mit Voxelgrößen von 0,12 x 0,12 x 0,12 mm erreicht werden.

Durch einen lateralen und einen posteroanterioren Probescan werden die Belichtungsparameter automatisch angepasst. Die Röntgenstromstärke, Spannung und Gesamtuntersuchungsdauer sind von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich und nicht zuletzt von den individuellen Belichtungsparametern abhängig. Die Belichtungsdauer ist dabei wesentlich geringer als die Gesamtuntersuchungsdauer. Dies erklärt sich dadurch, dass nicht eine konstante Strahlung, sondern vielmehr Millisekunden andauernde gepulste Strahlen abgegeben werden (zwischen 200 und 450), was multipliziert die Expositionszeit ergibt.

Der aufgenommene Primärdatensatz, der sich in der kleinsten Einheit aus Voxeln zusammensetzt, welche wiederum in ihrer Größe abhängig von der gewählten Schichtdicke sind, wird durch Modifikationen des approximativen Feldkamp Algorithmus rekonstruiert (FELDKAMP et al. 1984), an einen Rechner weitergeleitet und dort durch eine Software als Schicht- bzw. dreidimensionale Sekundärrekonstruktion dargestellt. Es stehen meist viele Funktionen für die weitere Bearbeitung bzw. Ansichtsauswahl zur Verfügung.

Im Vergleich zu einem Multi-Slice-CT (MSCT) ist die Strahlenexposition wesentlich geringer. Die effektive Dosis liegt bei einem CBCT bei 13-82 μSv bei Objektgrößen zwischen 40 mm und 200 mm Durchmesser. Ein MSCT hingegen hat bei gleicher Objektgröße eine effektive Dosis von 474-1160 μSv bei einer Schichtstärke von 0,75 mm x 60-226 mm (LOUBELE et al. 2008). Unterschiede zwischen einzelnen Herstellern ergeben sich aus den technischen Parametern, so ist beispielsweise bei der Verwendung von Bildverstärkersystemen eine geringere Strahlenexposition zu erwarten als bei Flachdetektoren. Die verwendeten Expositionsparameter sind ein weiterer Faktor.

In diversen Studien wurde die hohe Dimensionstreue der digitalen Volumentechnologie bestätigt (SUOMALEINEN et al. 2008, VEYRE-GOULET et al. 2008, LIANG et al. 2009, EL-ZANATY et al. 2010, LEUNG et al. 2010, SHERRARD et al. 2010); dies ist unabhängig von der Voxelauflösung (DAMSTRA et al. 2010).

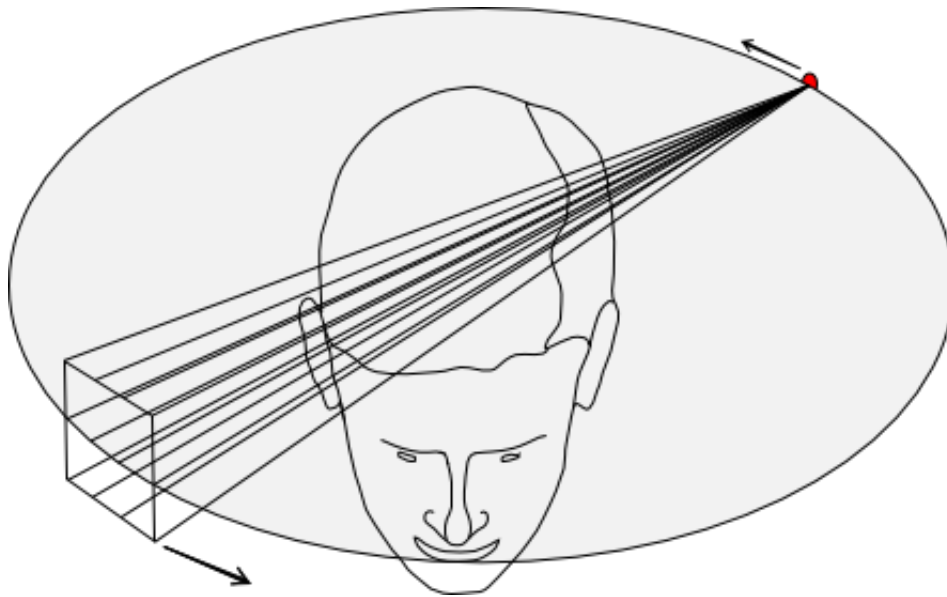


Abb. 3: Strahlengang eines DVTs. Die Sender-Detektor-Einheit rotiert 360° um den Patientenkopf und erfasst zunächst 200-450 zweidimensionale Bilder, welche anschließend dreidimensional rekonstruiert werden.

1.3. SimPlant®

SimPlant® Master 12.0 (Fa. Materialise, Leuven, Belgien) ist eine rechnergestützte Software, deren Anwendungsgebiet die präoperative Diagnostik und Planung von Implantatpositionen ist. Bei der Verwendung von SimPlant® im Zusammenhang mit einem KaVo 3D eXam (KaVo Dental GmbH, Bismarckring, Germany) wurde eine durchschnittliche Abweichung der Messgenauigkeit von 0,25 % bei einer Voxelgröße von 0,4 mm und von 0,33 % bei einer Voxelgröße von 0,25 mm auf 25 verschiedenen Messstrecken zwischen 10,12 mm und 94,53 mm ermittelt, dies entspricht einer durchschnittlichen Abweichung von 0,05 mm bzw. 0,07 mm (DAMSTRA et al. 2010).

Zunächst werden die Primärdaten eines DVTs oder Spiral-CTs zu einer SimPlant® Studiendatei (Sekundärrekonstruktion) komprimiert und gespeichert. Das ermittelte Volumen des Patientenschädels wird nun in vier Ansichten dargestellt, einem Frontal-, Horizontal- und Sagittalschnitt und einer dreidimensionalen Rekonstruktion (Abb. 4). Es stehen zahlreiche Funktionen zur Verfügung, die eine sichere Diagnosestellung und Planung von Implantaten ermöglichen, hier allerdings keine weitere Erwähnung finden sollen. Für diese Studie wurde die Möglichkeit genutzt, eine Panoramakurve zu legen und Abstände auf hundertstel Millimeter zu messen.

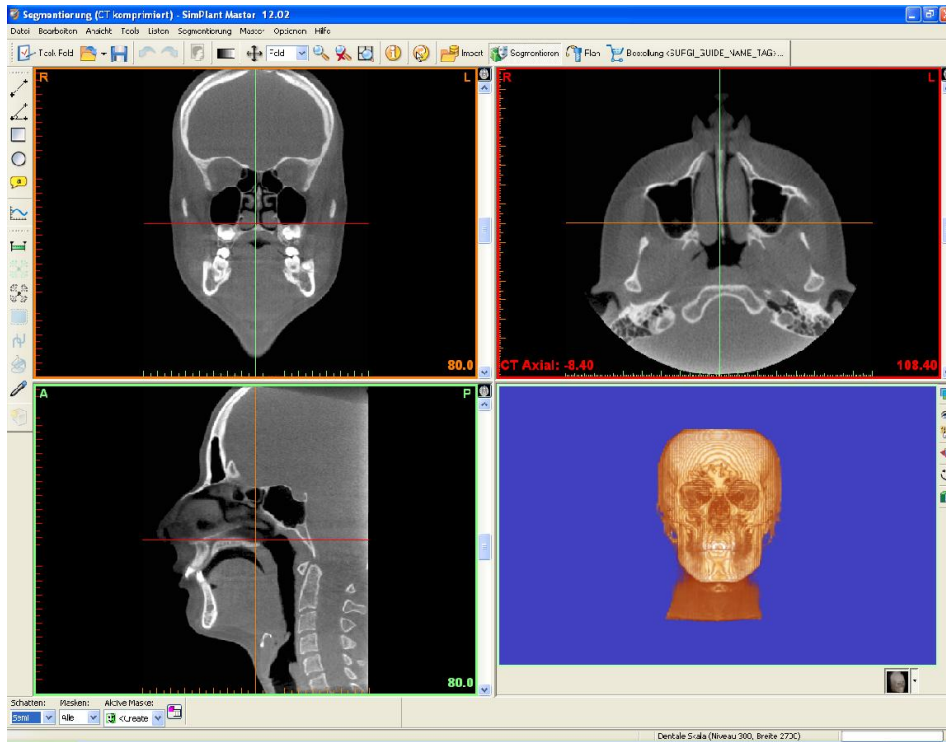


Abb. 4:
Darstellung eines segmentierten Beispieldatensatzes in SimPlant® Master.

2. Fragestellung

Bedingt durch den klinischen Bedarf an maximaler Verankerung im Rahmen kieferorthopädischer Behandlungen fanden Verankerungspins als unbewegliches Verankerungselement im letzten Jahrzehnt vermehrt Einzug in die Kieferorthopädie. Von besonderem Interesse für eine erfolgreiche Insertion werden in der aktuellen Literatur das interradiikuläre Platzangebot, die Dicke der Kortikalis, die Seite des Kiefers, ob eine Insertion im Ober- oder im Unterkiefer statt findet und Entzündungen der umgebenden Strukturen genannt.

Die bisherige Literatur zeigt sehr divergierende Angaben bezüglich des interradiikulären Abstandes, der Dicke der Kortikalis und der buccopalatinalen Ausdehnung des Alveolarfortsatzes. Das Knochenangebot bis zum Erreichen der Kieferhöhle ist bislang nur sehr vage in der Literatur beschrieben.

Ziel dieser Untersuchung war die systematische Messung des Knochenangebots im menschlichen Oberkiefer bei Patienten verschiedenen Alters. Dabei sollten das interradiikuläre Platzangebot, die Breite des Alveolarfortsatzes und die Dicke der Kortikalis in Abhängigkeit vom Alter der Patienten im Vordergrund stehen. Insbesondere sollten folgende Hypothesen überprüft werden:

2.1. Hypothesen zum interradiikulären Knochenangebot

- 2.1.1. Es bestehen signifikante Unterschiede im interradiikulären Knochenangebot zwischen den Seitenzähnen des Oberkiefers.
 - 2.1.1.1. Mindestens 70 % der kieferorthopädischen Patienten weisen mehr als 3 mm interradiikuläres Knochenangebot zwischen den Seitenzähnen des Oberkiefers auf.
- 2.1.2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede im interradiikulären Knochenangebot zwischen der rechten und linken Oberkieferhälfte.
- 2.1.3. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede im interradiikulären Knochenangebot zwischen weiblichen und männlichen Personen.
- 2.1.4. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede im interradiikulären Knochenangebot zwischen den drei untersuchten Altersgruppen (11-13 Jahre, 14-15 Jahre und 16-18 Jahre).

2.1.4.1. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit des Überschreitens von 3 mm interradikulärem Knochenangebot zwischen den Altersgruppen.

2.1.4.2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede im interradikulären Knochenangebot zwischen den Altersgruppen auf der rechten und der linken Oberkieferhälfte.

2.2. Hypothesen zur Kortikalisdicke

2.2.1. Es bestehen signifikante Unterschiede bezüglich der Dicke der Kortikalis zwischen den Seitenzähnen des Oberkiefers.

2.2.1.1. Mindestens 70 % der kieferorthopädischen Patienten haben sowohl buccal als auch palatinal eine interradikuläre Kortikalisdicke von mehr als einem 1 mm zwischen den Seitenzähnen des Oberkiefers.

2.2.2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dicke der Kortikalis zwischen der rechten und linken Oberkieferhälfte.

2.2.3. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dicke der Kortikalis zwischen weiblichen und männlichen Personen.

2.2.4. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dicke der Kortikalis zwischen den drei untersuchten Altersgruppen (11-13 Jahre, 14-15 Jahre und 16-18 Jahre).

2.2.4.1. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit des Überschreitens von 1 mm Kortikalisdicke zwischen den Altersgruppen.

2.2.4.2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dicke der Kortikalis zwischen den Altersgruppen auf der rechten und der linken Oberkieferhälfte.

2.3. Hypothesen zur Alveolarfortsatzbreite

2.3.1. Es bestehen signifikante Unterschiede in der Breite des Alveolarfortsatzes zwischen den Seitenzähnen des Oberkiefers.

2.3.1.1. Mehr als 70 % der kieferorthopädischen Patienten haben eine Alveolarfortsatzbreite von mehr als 6 bzw. 8 mm.

2.3.2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Breite des Alveolarfortsatzes zwischen der rechten und linken Oberkieferhälfte.

- 2.3.3. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Breite des Alveolarfortsatzes zwischen weiblichen und männlichen Personen.
- 2.3.4. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Breite des Alveolarfortsatzes zwischen den untersuchten drei Altersgruppen (11-13 Jahre, 14-15 Jahre und 16-18 Jahre).
 - 2.3.4.1. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit des Überschreitens von 6 bzw. 8 mm Alveolarfortsatzbreite zwischen den Altersgruppen.
 - 2.3.4.2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Breite des Alveolarfortsatzes zwischen den Altersgruppen auf der rechten und der linken Oberkieferhälfte.

2.4. Hypothese zur Perforation der Kieferhöhle

Eine Perforation der Kieferhöhle ist bei einer horizontalen Pininsertion im Bereich der befestigten Gingiva im Oberkieferseitenzahnbereich bei Vollbezahnten nicht möglich.

3. Materialien und Methoden

3.1. Allgemeine Methoden

Sämtliche Messungen dieser Arbeit erfolgten an 102 DVT-Datensätzen jugendlicher Patienten einer kieferorthopädischen Praxis. Dabei handelte es sich um 49 weibliche und 53 männliche Patienten. Das Alter lag zwischen 11 und 18 Jahren mit einem Mittelwert von 14,6 Jahren. Die 102 Datensätze wurden nach folgenden Kriterien aus einer Datenbank mit mehr als 2000 Patienten ausgewählt, die im Vorfeld einer kieferorthopädischen Behandlung erstellt wurden:

- Vollständiger Durchbruch der Zähne 17-27 im Oberkiefer und der Zähne 37-47 im Unterkiefer
- Kein Vorliegen eines Syndroms
- Keine LKG-Spalte
- Keine Parodontalerkrankung
- Keine Wurzelresorption
- Keine peridentalen Entzündungszeichen
- Keine Engstände
- Parallele Wurzelanordnung
- Keine Bewegungsartefakte

Für die Aufnahmen wurde ein iCAT® Classic (Xoran Technologies, Ann Arbor, Mich/Imaging Sciences International, Hatfield, Pa) verwendet. Die Rotationsdauer um den Patientenkopf betrug 20 Sekunden. Als Empfänger fand ein Amorphous Silicon Flachdetektor mit den Maßen 20 cm x 25 cm Verwendung, wobei durch die Collimation ein Bild mit dem Durchmesser von 16 cm entstand mit einer Voxelgröße von 0,4 mm und einer Brennfleckgröße von 0,5 mm. Die Dauer zur Erstellung der Primärrekonstruktion belief sich auf 1 Minute.

Die 512 Schichten eines jeden DICOM Datensatzes (Digital Imaging and Communications in Medicine), wurden in das Programm SimPlant® Master (Version 12.0, Fa. Materialise, Leuven, Belgien) eingelesen und als SimPlant® Master Projekt in Form einer komprimierten Datei gespeichert. Die Auswertung fand an einem Desktop PC mit dem Betriebssystem Windows® XP Professional statt. Als Monitor wurde ein 3 Megapixel EIZO

RadiForce™ R31 (Fa. Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Germany) verwendet, welcher für DIN 6868-57-konforme Anzeigesituationen der Anwendungskategorie B geeignet ist.

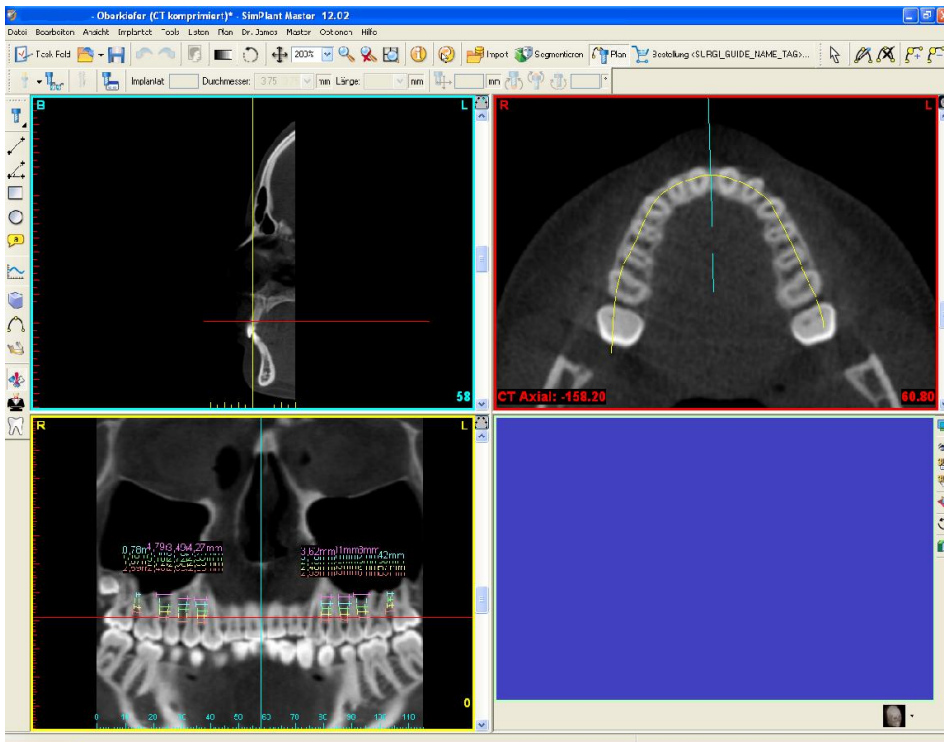


Abb. 5: Entlang der engsten interradikulären Abstände gelegte Panoramakurve (oben rechts), lineare Darstellung zur Messung der Interradikularräume (unten links) und sagittale Darstellung (oben links).

3.2. Spezielle Methoden

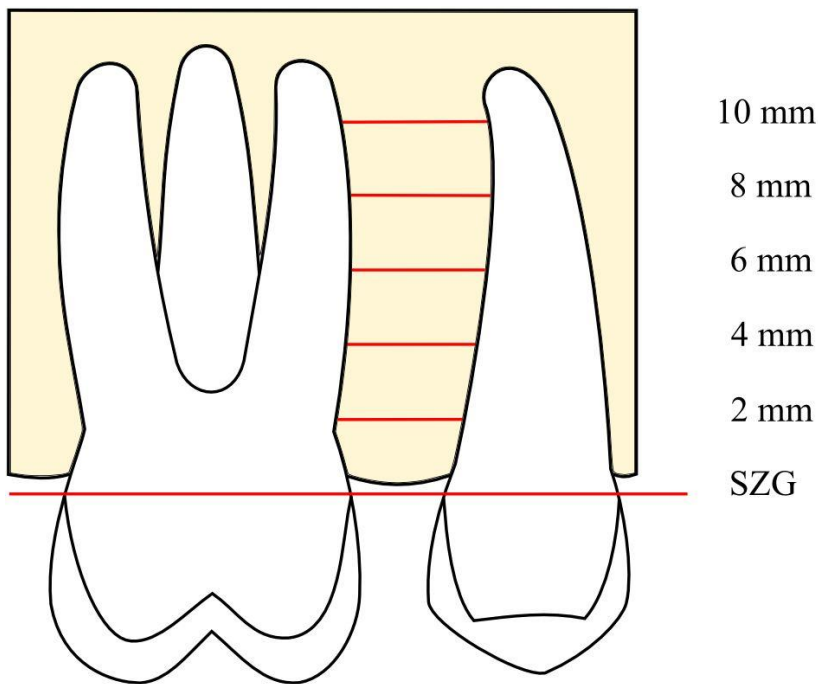
3.2.1. Interradikuläres Knochenangebot

Um die interradiikulären Abstände zu messen, wurde eine Panoramaschichtaufnahme entsprechende Darstellung gewählt. Dazu wurde eine Panoramakurve entlang der Wurzeln der Oberkieferseitenzähne im Horizontalschnitt gelegt (Abb. 5 rechts oben), die in der Panoramaansicht als horizontale Linie (Gerade) erscheint (Abb. 5 links unten). Ausschlaggebend für die Position der Kurve war der engste interradiikuläre Abstand, unabhängig davon, ob es sich um die vestibulären oder palatinalen Wurzeln der Molaren handelte. Auch in der vertikalen Dimension wurde die Panoramakurve entsprechend des engsten interradiikulären Abstandes gelegt. Differierte die vertikale Höhe des interradiikulären Abstandes zwischen benachbarten Zähnen, so wurde der Horizontalschnitt gemäß des engsten interradiikulären Abstandes weiter nach kranial bzw. kaudal verschoben und mit der Erstellung der Kurve fortgefahren. Lagen bei gekippt stehenden Zähnen Anteile eines Zahnes außerhalb der Schichtdicke der gelegten Kurve, so dass eine Vermessung nicht möglich oder eingeschränkt war, wurde die Patientenaufnahme für die Zwecke der vorliegenden Studie verworfen.

3.2.1.1. Unterschiede zwischen den Interradiikularräumen

Die interradiikulären Abstände wurden von der Distalfläche des Caninus bis zur Mesialfläche des zweiten Molaren in jeweils 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der approximal gelegenen Schmelz-Zement-Grenze bei einer Vergrößerung von 400 % bestimmt (Abb. 6). Lag die Schmelz-Zement-Grenze benachbarter Zähne nicht auf einer Ebene, wurde diese bis zu einer maximalen Differenz von 1 mm vertikalem Höhenunterschied halbiert und als Ausgangsebene definiert.

Zum Vergleich der Verteilung der metrischen Messwerte zweier verbundener Stichproben wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test verwendet. Dieser nichtparametrische Test wurde parametrischen Verfahren (wie z. B. der t-Test) vorgezogen, da a priori bei den Messwerten nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann. Von besonderem Interesse waren signifikante Unterschiede auf den fünf Messniveaus (2-10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in 2 mm Abständen) der Interradiikularräume einer Seite. Alle statistischen Auswertungen der vorliegenden Arbeit wurden mit dem Programm SAS® 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) erstellt.

**Abb. 6:**

Schematische Darstellung der interradikulären Messung,

SZG = Schmelz-Zement-Grenze

3.2.1.1.1. Prozentuale Auswertung

Die prozentuale Auswertung am Gesamtpatientenkollektiv fand wie folgt statt: für jede Messstrecke wurde bestimmt, bei wie viel Prozent der vermessenen DVTs der Interradikularabstand ≥ 3 mm betrug. Dies beruht auf dem von SCHNELLE et al. (2004) geforderten Mindestabstand von 3 mm für eine Minischraubeninsertion.

3.2.1.2. Unterschiede zwischen der rechten und der linken Oberkieferhälfte

Um mögliche Unterschiede der beiden Seiten festzustellen, wurden die Messungen getrennt erstellt und erfasst. Der interradikuläre Abstand zwischen den Zähnen 13-14, 14-15, 15-16, 16-17 der rechten Seite und zwischen 23-24, 24-25, 25-26, 26-27 der linken Seite wurde gemessen.

Verglichen wurden die jeweils analogen Höhen der beiden Seiten, so wurde ausgehend von der Schmelz-Zement-Grenze die 2 mm Ebene von 13 mit der 2 mm Ebene von 23 verglichen usw.

Zum Vergleich der Verteilung der metrischen Messwerte zweier verbundener Stichproben, hier der rechten und linken Oberkieferhälfte, wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test verwendet.

Zum Vergleich der Häufigkeit von Messstellen mit ≥ 3 mm interradiikulärem Abstand also zum Vergleich der Verteilung dichotomer Messwerte verbundener Stichproben, hier der interradiikuläre Abstand analoger Höhen der rechten und linken Oberkieferhälfte, fand der McNemar-Tests Anwendung.

3.2.1.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Die untersuchten DVTs stammen von 49 weiblichen und 53 männlichen Personen. Um Unterschiede zwischen den Geschlechtern festzustellen, wurde eine getrennte Dokumentation vorgenommen.

Bei zwei unverbundenen metrischen Stichproben, hier der Vergleich analoger Werte der beiden Geschlechter, kam der Mann-Whitney U Test zur Anwendung.

Zum Vergleich der prozentualen Auswertung des Interradiikularabstandes ≥ 3 mm bei unverbundenen Stichproben dichotomer Messwerte, hier der Vergleich analoger prozentualer Werte der beiden Geschlechter, kam Fishers exakter Test zur Anwendung.

3.2.1.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen.

Es wurden folgende Altersgruppen festgelegt: 11-13 Jahre, 14-15 Jahre und 16-18 Jahre. Die Altersgruppe der 11-13-Jährigen setzt sich aus 30 Personen zusammen und die Altersgruppen der 14-15- und 16-18-Jährigen aus jeweils 36 Personen. Der Altersdurchschnitt der Kollektivmessung betrug 14,6 Jahre.

Um bei multiplen Testen das Signifikanzniveau zu kontrollieren bzw. falsch positive Ergebnisse zu vermeiden, wurden zunächst mit einem globalen Test (Kruskal-Wallis-Test) signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den 3 Altersgruppen ermittelt. Nur wenn dieser Test signifikante Unterschiede aufwies, wurde mit dem paarweisen Vergleich unverbundener Stichproben fortgefahren, hier der direkte Vergleich zweier Altersgruppen mittels des Mann-Whitney U Test (BENDER et al. 2007).

3.2.1.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Zum Vergleich der Häufigkeiten von ≥ 3 mm Interradikularabstand bei unverbundenen Stichproben dichotomer Messwerte kam Fishers exakter Test zweifach zur Anwendung. Um auch hier bei multiplem Testen das Signifikanzniveau zu kontrollieren, erfolgte die Auswertung zunächst an allen 3 Altersgruppen. Nur wenn dieser erste Test signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede aufwies, wurden anschließend paarweise je zwei Altersgruppen verglichen.

3.2.1.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

Zum metrischen Vergleich zweier verbundener Stichproben, hier der analogen Werte der rechten und linken Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen, wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test verwendet.

3.2.2. Dicke der Kortikalis

3.2.2.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

Zur Dickenmessung der Kortikalis wurde dieselbe Panoramakurve verwendet, die unter Punkt 3.2.1. erstellt wurde. Hier wurden jedoch anhand von Schnitten in orovestibulärer Richtung die buccale und palatinale Kortikalis vermessen, ausgehend von der Distalfläche des Caninus bis zur Mesialfläche des zweiten Molaren. Die Auswertung fand interradi­kulär senkrecht zur Panoramakurve statt in jeweils 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze (Abb. 7-9) bei einer Vergrößerung von 400 %. Die Platzierung des Schnittes erfolgte auf Wurzelebene und wurde für jede einzelne Messung neu mittig justiert. Eine exakt mittig interradi­kuläre Platzierung des senkrecht zur Panoramakurve verlaufenden Schnittes war in einigen DVTs nicht möglich. Dies erklärt sich dadurch, dass die Schnitte lediglich entsprechend der Voxelgröße durchlaufen werden konnten, diese belief sich auf 0,4 mm. Liegt die interradi­kuläre Mitte innerhalb eines Voxels, wurde die Platzierung des Schnittes seitlich in jene Richtung verschoben, die der interradi­kulären Mitte am nächsten kam.

Zum Vergleich der Verteilung der metrischen Messwerte wurde analog zu Kapitel 3.2.1.1. vorgegangen, jeweils buccal und palatinal getrennt.

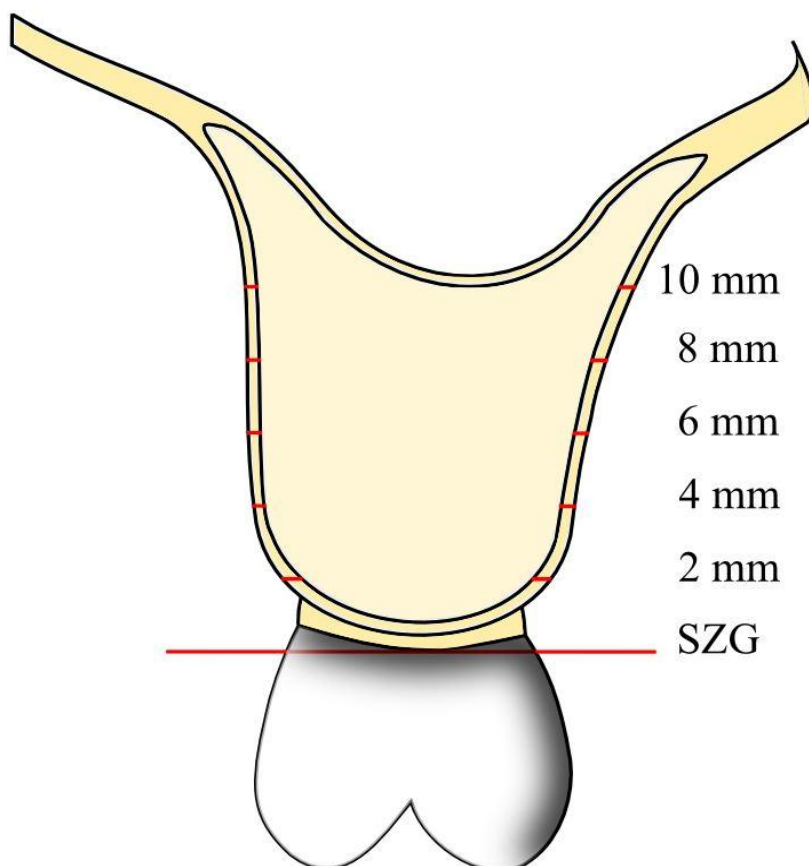


Abb. 7:
Schematische Darstellung der Messung der Kortikalisdicke, als Referenzebene diente die approximale Schmelz-Zement-Grenze (SZG).

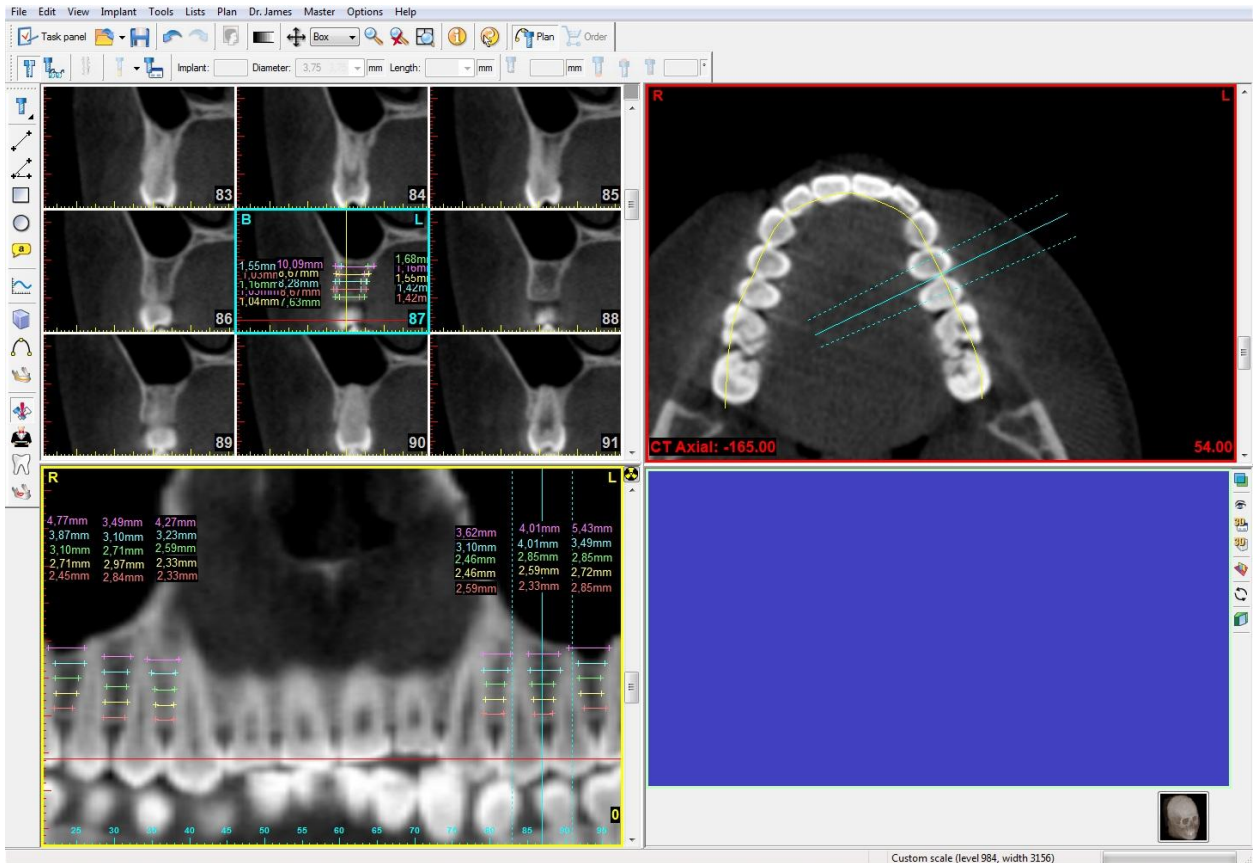


Abb. 8: Darstellung der Panoramakurve (oben rechts), der senkrecht zur Panoramakurve in orovestibulärer Richtung verlaufende Schnitt (oben links, s. auch Abb. 9) und die der Panoramamaschichtaufnahme ähnelnde Darstellung der als Gerade dargestellten Panoramakurve (unten links).



Abb. 9: Detailansicht der Messungen der Kortikalisdicke und der Alveolarfortsatzbreite.

3.2.2.1.1. Prozentuale Auswertung

Der Vergleich der Häufigkeiten mit einer Kortikalisstärke ≥ 1 mm fand analog zu 3.2.1.1.1. statt. Dies beruht auf der Studie von MOTOYOSHI et al. (2008), die von einer signifikant höheren Erfolgsquote von Verankerungspins berichtet bei einer Kortikalisstärke von ≥ 1 mm.

3.2.2.2. Unterschiede zwischen der rechten und der linken Oberkieferhälfte

Um mögliche Unterschiede der beiden Seiten festzustellen, wurden die Messungen buccal, palatinal, rechts und links getrennt erstellt und erfasst. Die Kortikalisdicke wurde mittig der Wurzeln zwischen den Zähnen 13-14, 14-15, 15-16, 16-17 der rechten Seite und zwischen 23-24, 24-25, 25-26, 26-27 der linken Seite sowohl buccal als auch palatinal gemessen.

Der Vergleich der Verteilung metrischer Messwerte und der Vergleich der Häufigkeit von Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke fand analog zu Kapitel 3.2.1.2. statt.

3.2.2.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Der Vergleich der Verteilung metrischer Messwerte und der Vergleich der Häufigkeit von Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke fand analog zu Kapitel 3.2.1.3. statt.

3.2.2.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Das Vorgehen erfolgte analog zu Kapitel 3.2.1.4.

3.2.2.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Der Vergleich der Häufigkeiten mit einer Kortikalisstärke ≥ 1 mm fand analog zu Kapitel 3.2.1.4.1. statt.

3.2.2.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

Das Vorgehen erfolgte analog zu Kapitel 3.2.1.4.2.

3.2.3. Breite des Alveolarfortsatzes

3.2.3.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

Im Zuge der Bestimmung der buccalen und palatinalen Kortikalis wurde auch die Vermessung der Breite des Oberkieferalveolarknochens vorgenommen (Abb. 9 und 10), welche sowohl die buccale und palatinale Kortikalis als auch den dazwischen liegenden trabekulären Knochen beinhaltet.

Die Breite des Alveolarknochens wurde jeweils interradiär von der Distalfläche des Caninus bis zur Mesialfläche des zweiten Molaren bestimmt. Analog zu den vorangegangenen Messungen wurde auf der Höhe von 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze ein horizontaler Messlinienverlauf gewählt.

Zum Vergleich der Verteilung der metrischen Messwerte wurde analog zu Kapitel 3.2.1.1. vorgegangen.

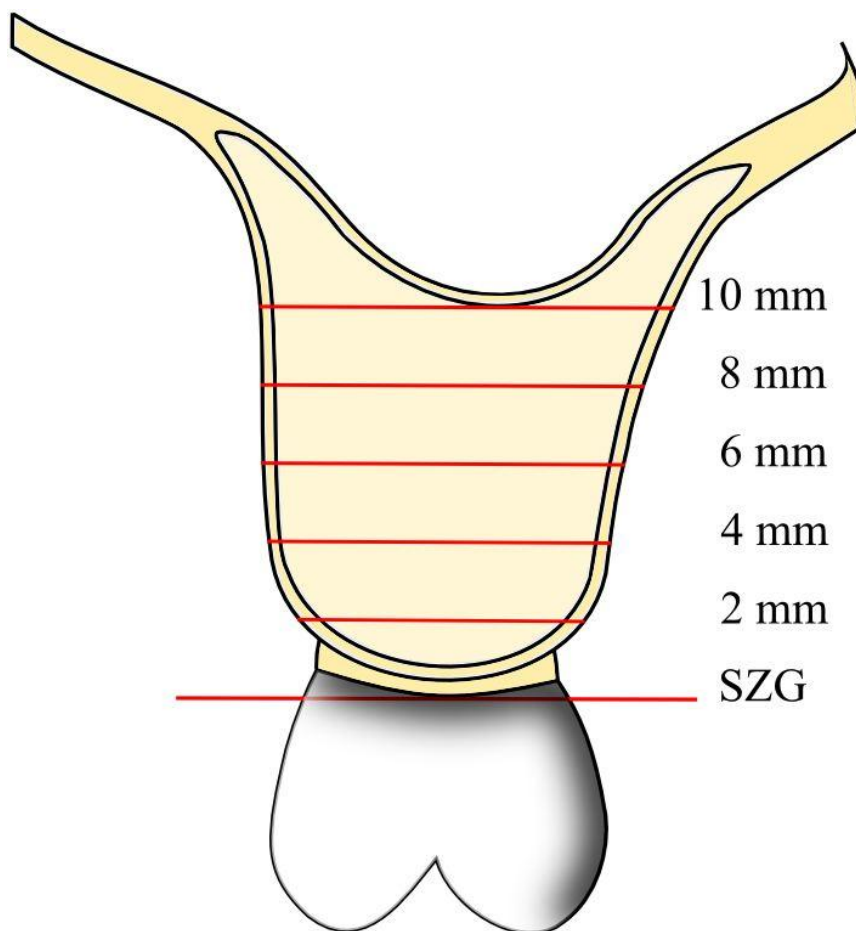


Abb. 10:

Schematische Darstellung der Messung der Alveolarfortsatzbreite, als Referenzebene diente die approximale Schmelz-Zement-Grenze (SZG).

3.2.3.1.1. Prozentuale Auswertung

Der Vergleich der Häufigkeiten des Alveolarfortsatzes mit ≥ 6 mm bzw. ≥ 8 mm fand analog zu Kapitel 3.2.1.1.1. statt.

3.2.3.2. Unterschiede zwischen der rechten und der linken Oberkieferhälfte

Um mögliche Unterschiede der beiden Seiten festzustellen, wurden die Messungen getrennt erstellt und erfasst. Die Dicke der Kortikalis wurde mittig der Wurzeln zwischen 13-14, 14-15, 15-16, 16-17 der rechten Seite und zwischen 23-24, 24-25, 25-26, 26-27 der linken Seite gemessen.

Der Vergleich der Verteilung metrischer Messwerte und der Vergleich der Häufigkeit von Messstellen mit ≥ 6 mm bzw. ≥ 8 mm Alveolarfortsatzbreite fand analog zu Kapitel 3.2.1.2. statt.

3.2.3.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Der Vergleich der Verteilung metrischer Messwerte und der Vergleich der Häufigkeit von Messstellen mit ≥ 6 mm, bzw. ≥ 8 mm Alveolarfortsatzbreite fand analog zu Kapitel 3.2.1.3. statt.

3.2.3.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Das Vorgehen erfolgte analog zu Kapitel 3.2.1.4.

3.2.3.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Der Vergleich der Häufigkeiten mit einer Alveolarfortsatzbreite ≥ 1 mm fand analog zu Kapitel 3.2.1.4.1. statt.

3.2.3.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

Das Vorgehen erfolgte analog zu Kapitel 3.2.1.4.2.

3.2.4. Perforation der Kieferhöhle

Eine Notwendigkeit das Knochenangebot in kraniokaudaler Richtung für die sichere Insertion zu bestimmen besteht in regio 17-15, bzw. 25-27, da in diesem Gebiet ein geringeres Knochenangebot als 10 mm von der SZG möglich ist. Dazu wurde der durch die Panoramakurve erstellte Schnitt gewählt und interrädikulär die Distanz der Parallelen der Tangenten des kaudalsten Punktes der Kieferhöhle und der approximalen Schmelz-Zement-Grenze gemessen (Abb. 11). Dies erfolgte zwischen den Zähnen 17-16, 16-15 und 25-26, 26-27.

Da im Bereich der keratinisierten Gingiva inseriert werden sollte, um Entzündungen der beweglichen Mukosa zu vermeiden, wurde von LIM et al. (2007) der Bereich der keratinisierten Gingiva ermittelt. Diese befindet sich 4 mm bis 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

Daher wurde am Gesamtpatientenkollektiv neben der metrischen Erfassung die Häufigkeit der Patienten ermittelt, bei denen eine Perforation im 4 mm bzw. 6 mm Bereich von der Schmelz-Zement-Grenze möglich wäre.

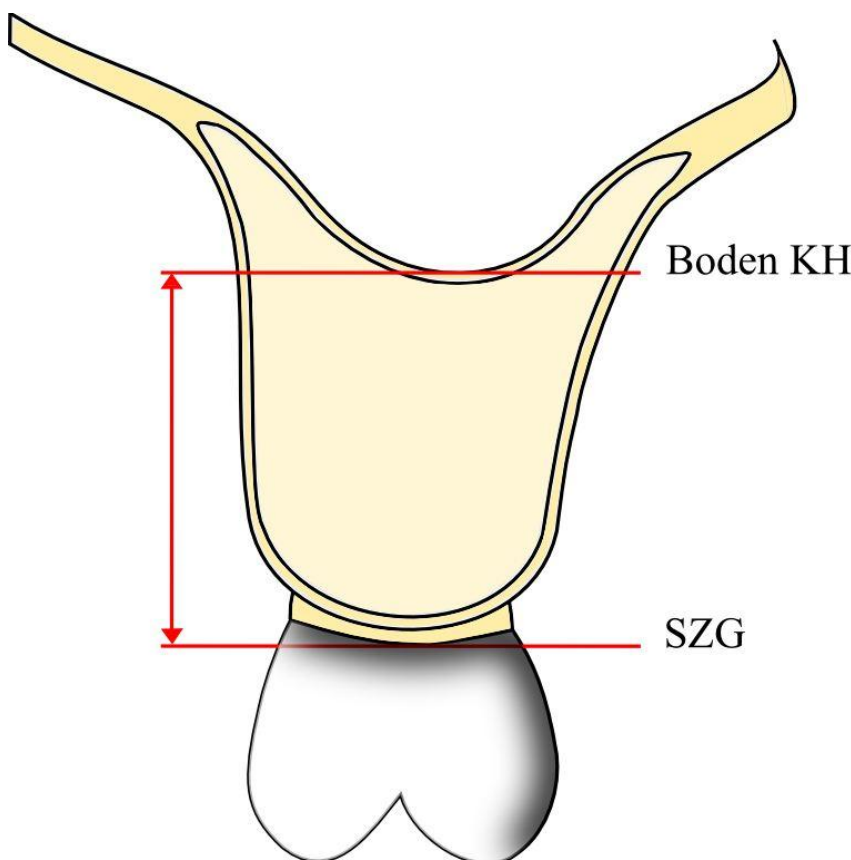


Abb. 11:

Schematische Darstellung der Messung zur Perforation der Kieferhöhle, dargestellt ist die Distanz der Parallele zwischen der Bezugsebene (approximale Schmelz-Zement-Grenze, **SZG**) und der Tangenten des kaudalsten Punktes der Kieferhöhle (**KH**).

3.2.5. Fehlerberechnung

Um den Methodenfehler zu bestimmen, wurde von dem selben Untersucher in einem Abstand von 2 Monaten 10 DVTs zufällig ausgewählter Patienten erneut vermessen. Die Berechnung wurde mit der Formel nach DAHLBERG (1940) durchgeführt, die bei einem *relativen* Wert < 1 von einer ausreichenden Messgenauigkeit ausgeht. In die Berechnung flossen sowohl Messfehler ein, als auch Differenzen, die durch die Positionierung der Panoramakurve entstanden sind.

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

Abb. 12:

Dahlberg-Formel zur Berechnung des Methodenfehlers (MF). $\sum d^2$ = Summe der quadratischen Differenzen zweier Wiederholungsmessungen, n = Anzahl der Messungen

3.2.6. Grafische Darstellung

Zur Darstellung der Messergebnisse wurden neben Tabellen vorwiegend Box-Whisker-Plots genutzt, welche mit dem Programm STATA 8.0 (Stata Corp., TX, USA) erstellt wurden.

Der Box-Whisker-Plot ist eine grafische Darstellung deskriptiver Kenngrößen der Verteilung einer Variablen. Die Box in der Mitte wird durch das 25. und durch das 75. Perzentil begrenzt. 25 % der Daten liegen also unter- und oberhalb der Box, die übrigen 50 % der Daten liegen in der Box. Die Linie innerhalb der Box stellt den Median dar. Von der Box gehen sogenannte Whisker ab, wobei der untere Whisker den kleinsten Wert der Daten zeigt, der nicht mehr als 1,5 Boxlängen unter der Box liegt, der obere zeigt den größten Wert der Daten an, der nicht mehr als 1,5 Boxlängen über der Box liegt. Werte, die außerhalb der Whisker liegen, werden im Graphen als einzelne Punkte dargestellt und als Ausreißer oder Extremwerte bezeichnet. Liegen keine Ausreißer und Extremwerte vor, so entsprechen die Whisker den Extrema.

4. Ergebnisse

4.1. Interradikuläres Knochenangebot

4.1.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

Die Abbildungen 14-18 zeigen den Median, die Verteilung und die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede der metrischen interradiikulären Platzverhältnisse der insgesamt 102 Patienten (49 w / 53 m, durchschnittliches Alter: 14,6 Jahre). Es sind die Messungen im Abstand von 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) zwischen den Zähnen 17-16, 16-15, 15-14, 14-13, sowie zwischen 23-24, 24-25, 25-26 und 26-27 dargestellt.

Ein Überschreiten von 3 mm interradiikulärem Knochenangebot war lediglich im 8 mm und 10 mm Bereich zu finden, dem Bereich, der aller Wahrscheinlichkeit nach außerhalb der befestigten Gingiva liegt. Eine graphische Darstellung in Form eines schematischen Orthopantomogramms (Abb. 12) zeigt grün gekennzeichnet die Lokalisationen, an denen sich durchschnittlich mindestens 2,9 mm interradiikuläres Knochenangebot befanden und orange gekennzeichnet jene mit einem interradiikulären Abstand zwischen 2,7 mm und 2,9 mm.

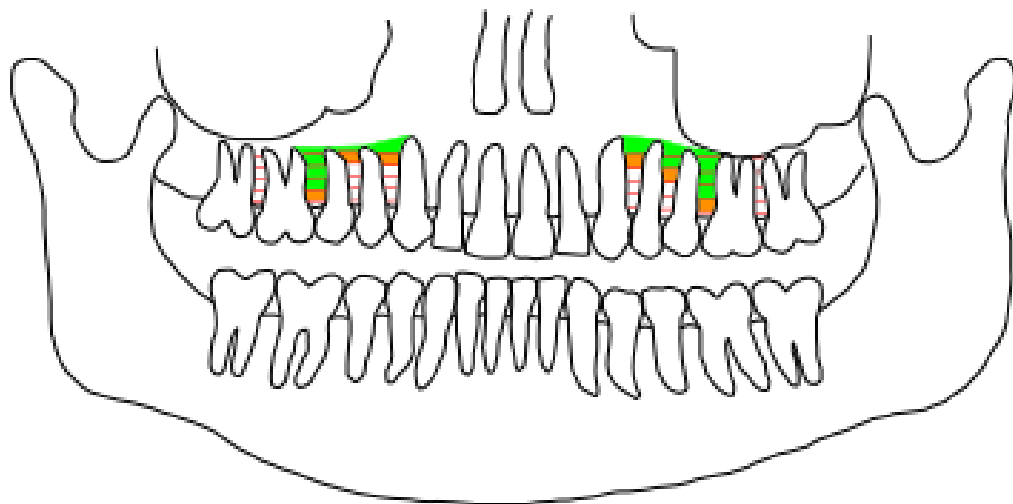


Abb. 13:

Übersicht der durchschnittlichen interradiikulären Abstände. Grün: $\geq 2,9$ mm, orange: 2,7 mm - 2,9 mm. Ein Knochenangebot von 2,9 mm im Bereich der befestigten Gingiva war lediglich beidseits mesial des ersten Molaren ab 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze vorhanden.

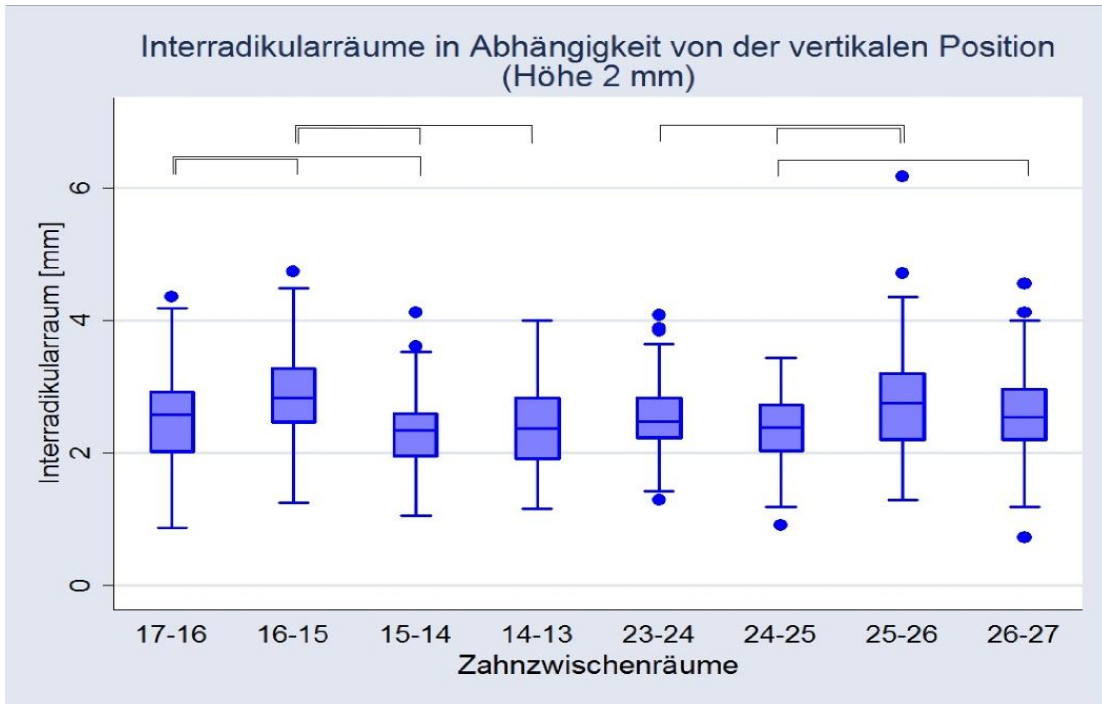


Abb. 14:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 2 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze. \square = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau.

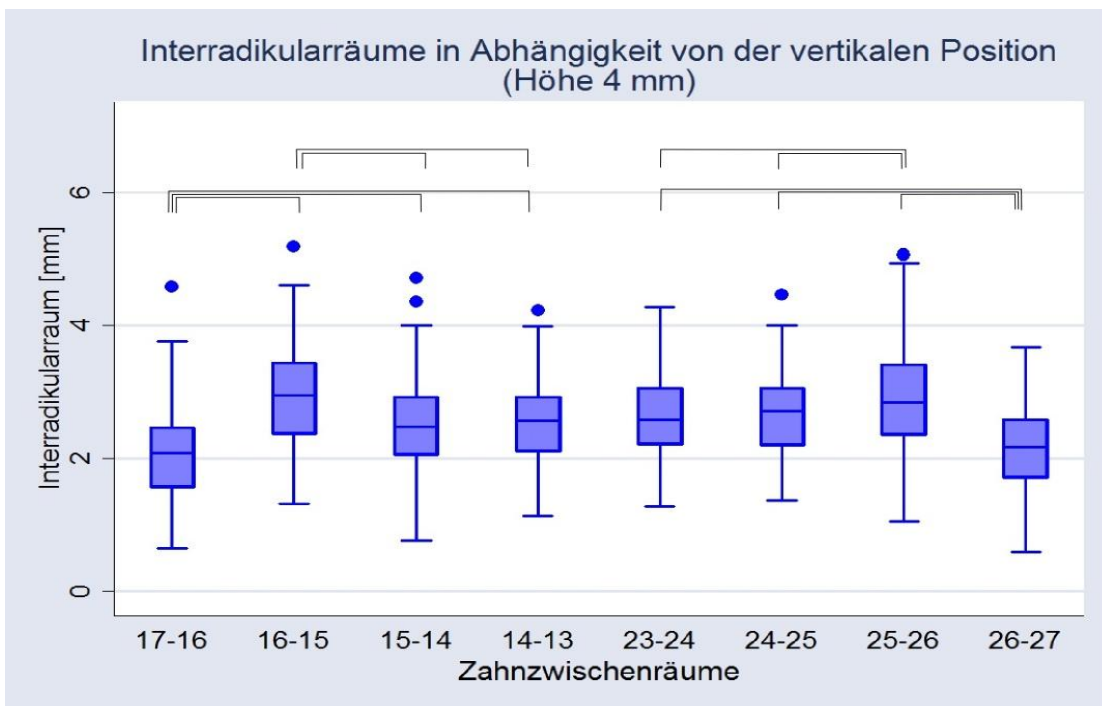


Abb. 15:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 4 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze. \square = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

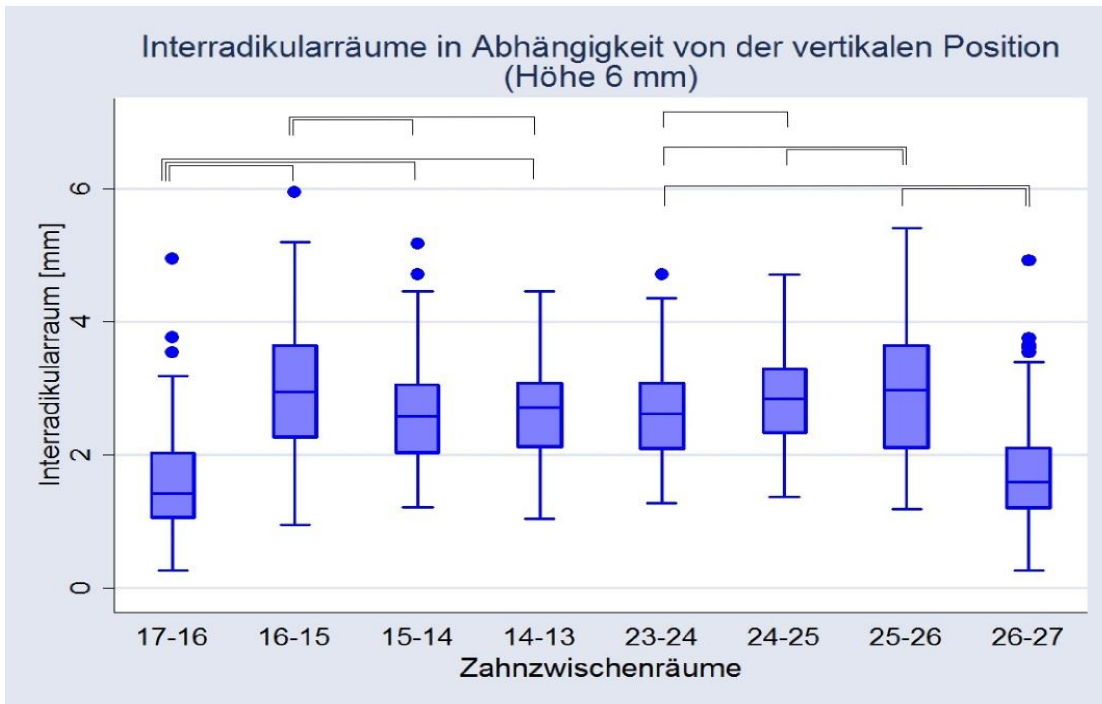


Abb. 16:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 6 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze. \square = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

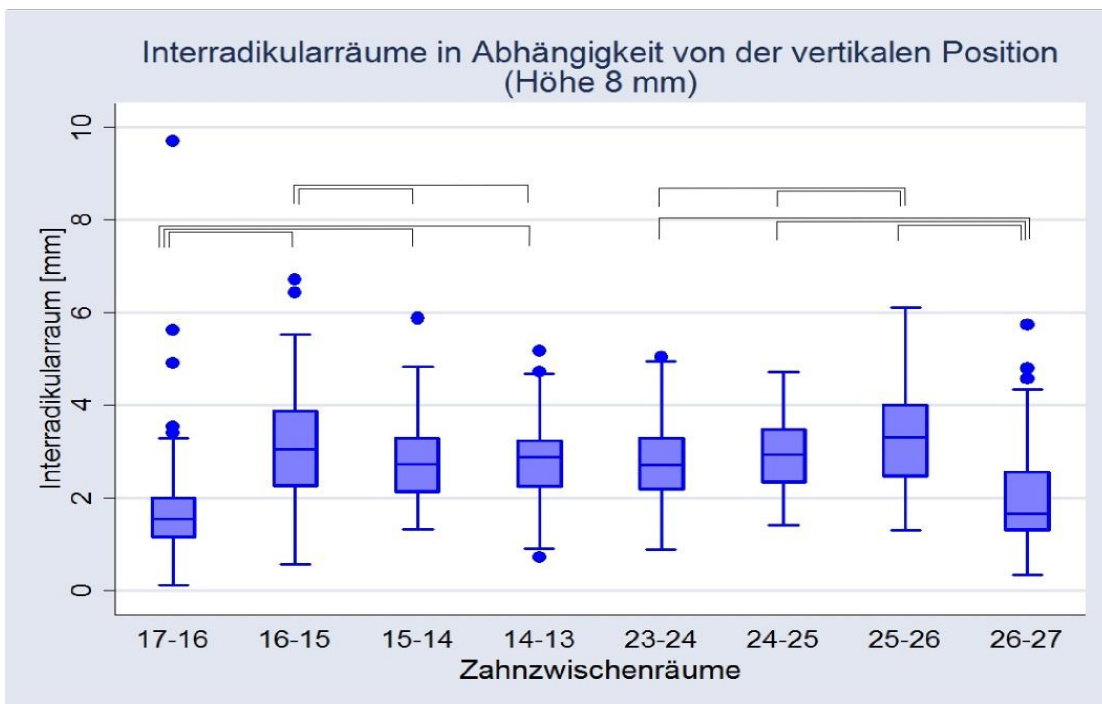


Abb. 17:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 8 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze. \square = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

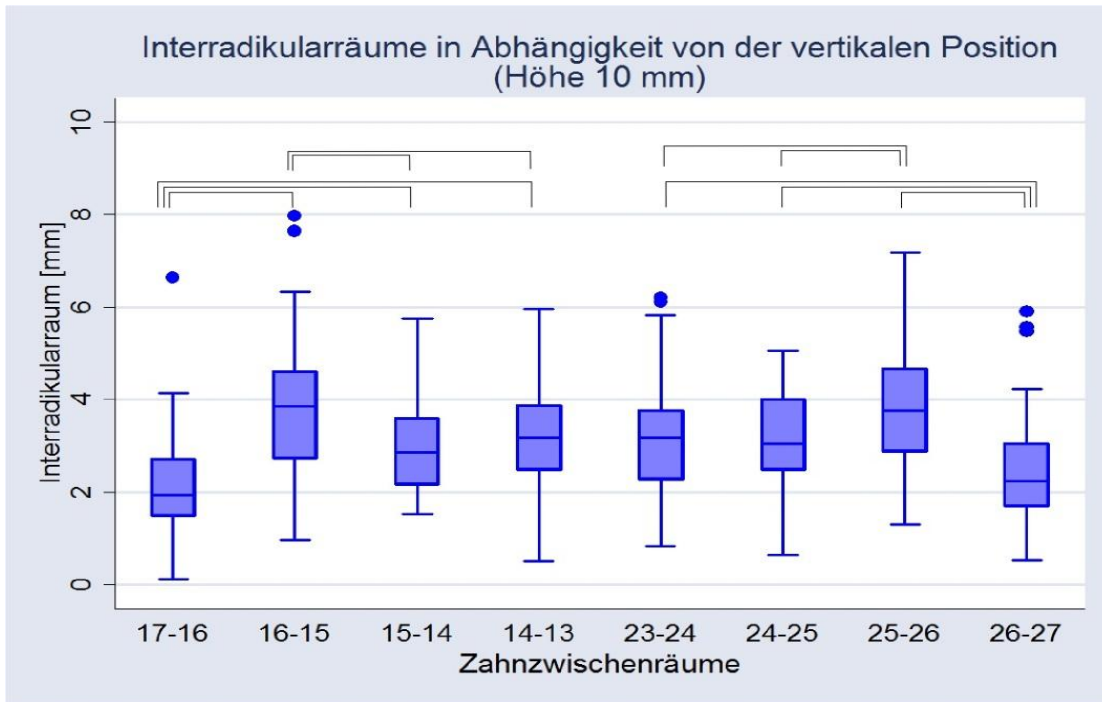


Abb. 18:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 10 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze. \square = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

4.1.1.1. Prozentuale Auswertung

Die Abbildungen 19-23 zeigen die Häufigkeit und die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede der Interradikularräume ≥ 3 mm am Gesamtpatientengut der 102 Jugendlichen.

Im Bereich der befestigten Gingiva (4-6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze) blieben alle Interradikularräume mit einem Abstand von ≥ 3 mm unterhalb von 50%. Lediglich 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen den Zähnen 25 und 26 wurde bei knapp über 70 % der vermessenen DVTs ein interradiikuläres Knochenangebot ≥ 3 mm ermittelt.

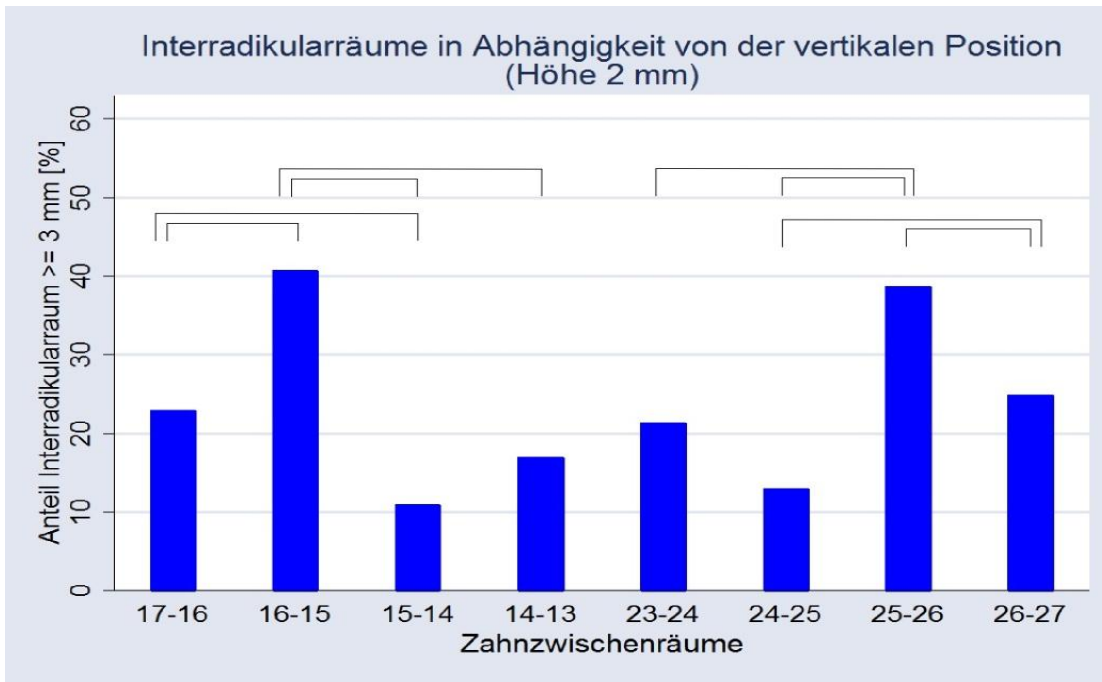


Abb. 19:

Balkendiagramm des prozentualen Anteils der Zahnzwischenräume mit einem Abstand ≥ 3 mm in einer Distanz von 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

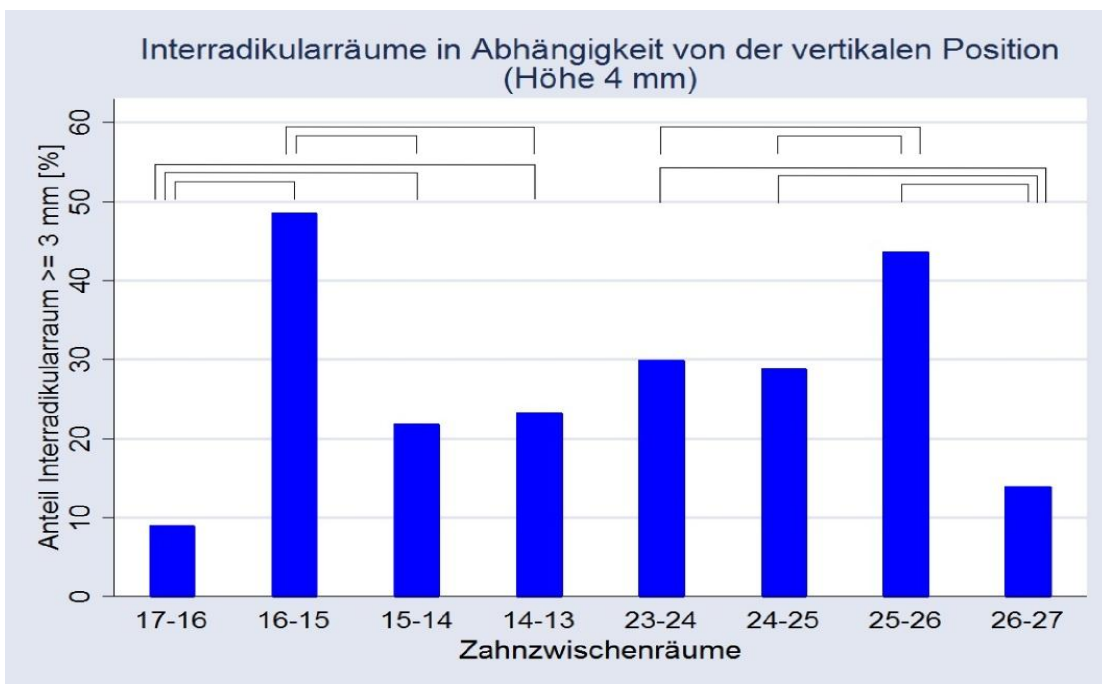


Abb. 20:

Balkendiagramm des prozentualen Anteils der Zahnzwischenräume mit einem Abstand ≥ 3 mm in einer Distanz von 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

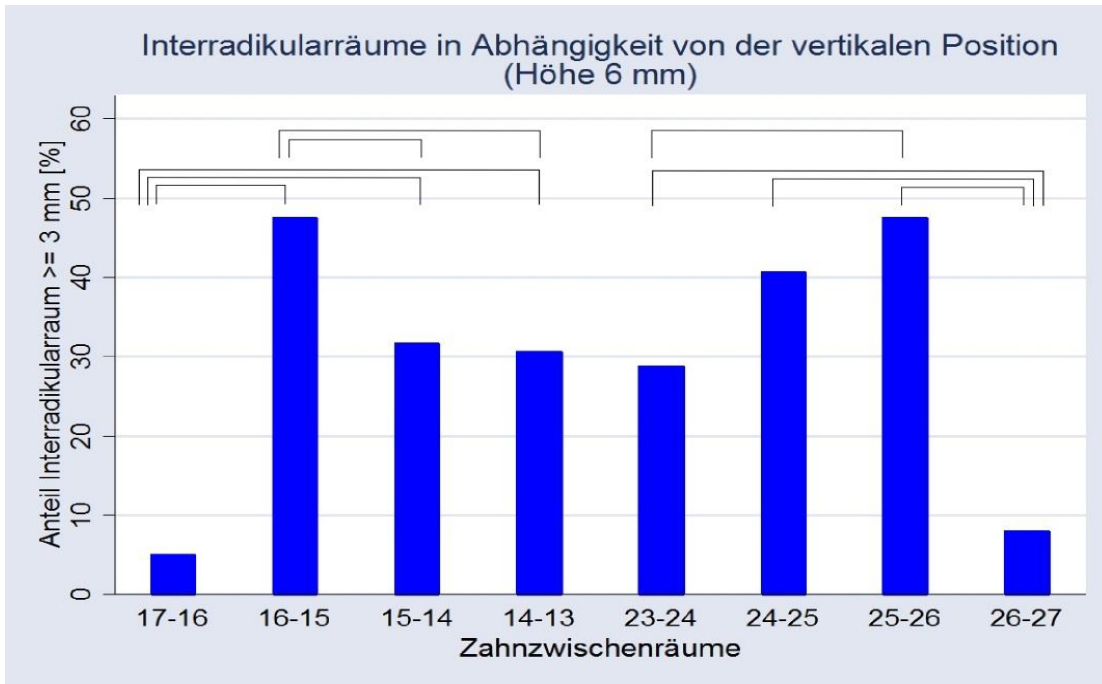


Abb. 21:

Balkendiagramm des prozentualen Anteils der Zahnzwischenräume mit einem Abstand ≥ 3 mm in einer Distanz von 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

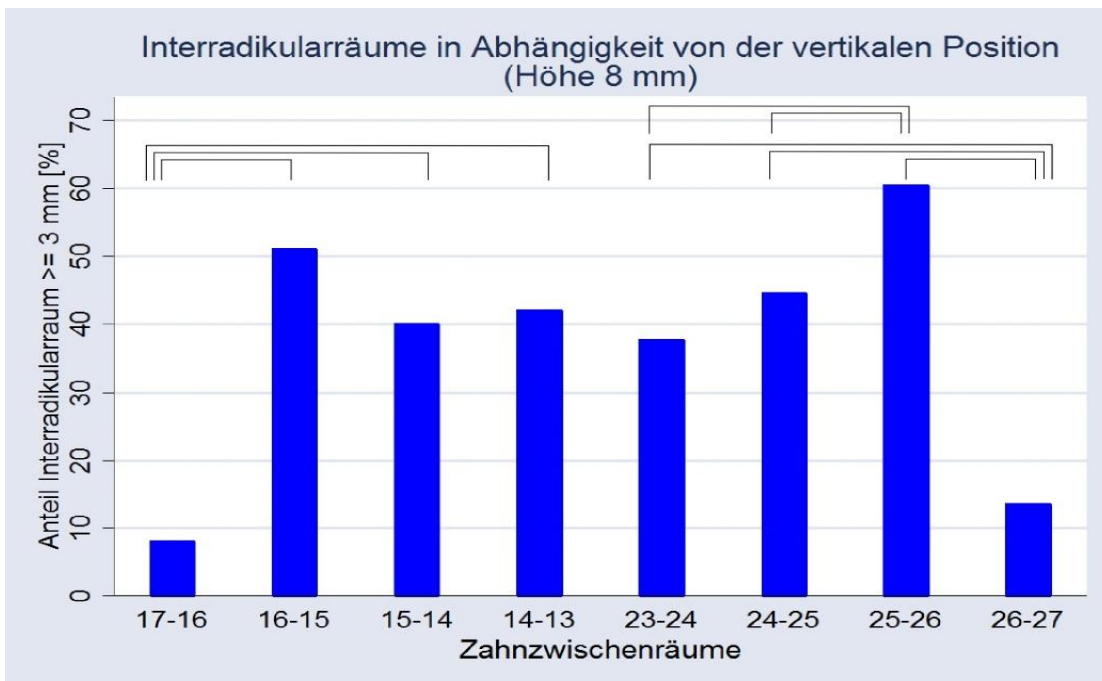


Abb. 22:

Balkendiagramm des prozentualen Anteils der Zahnzwischenräume mit einem Abstand ≥ 3 mm in einer Distanz von 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

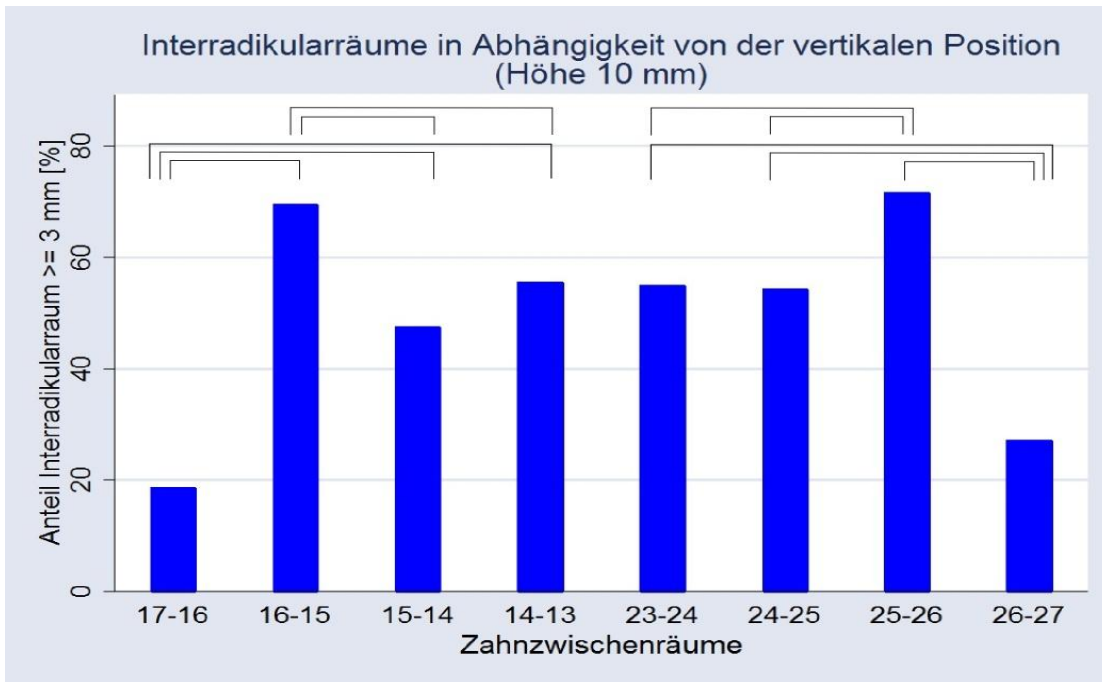


Abb. 23:

Balkendiagramm des prozentualen Anteils der Zahnzwischenräume mit einem Abstand ≥ 3 mm in einer Distanz von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

4.1.2. Unterschiede zwischen der rechten und der linken Oberkieferhälfte

Die Zähne 17-16 zu 26-27 und 15-14 zu 24-25 zeigten signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- 6 mm und 8 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze war der interradiikuläre Abstand von 17-16 zu 26-27 signifikant kleiner.
- 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze war der interradiikuläre Abstand 15-14 zu 24-25 signifikant kleiner.

Die linke Seite zeigte bei statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschieden stets das größere Knochenangebot, mit einer maximalen Differenz von 0,23 mm waren die Unterschiede jedoch gering.

Der Vergleich der Häufigkeit der interradiikulären Abstände ≥ 3 mm ergab keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

4.1.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Der Vergleich der interradikulären Messwerte der Geschlechter ergab keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

Ebenso der Vergleich der Häufigkeit der interradikulären Abstände zwischen den Geschlechtern (≥ 3 mm) ergab keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

4.1.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Die Abbildungen 24-28 zeigen den Median, die Verteilung und signifikante Unterschiede auf dem 5 % - Niveau der interradikulären Platzverhältnisse zwischen den Altersgruppen in 2 mm bis 10 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG).

Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zeigten sich selten und nur außerhalb des Bereichs der befestigten Gingiva. Eine eindeutige Altersabhängigkeit konnte nicht beobachtet werden.

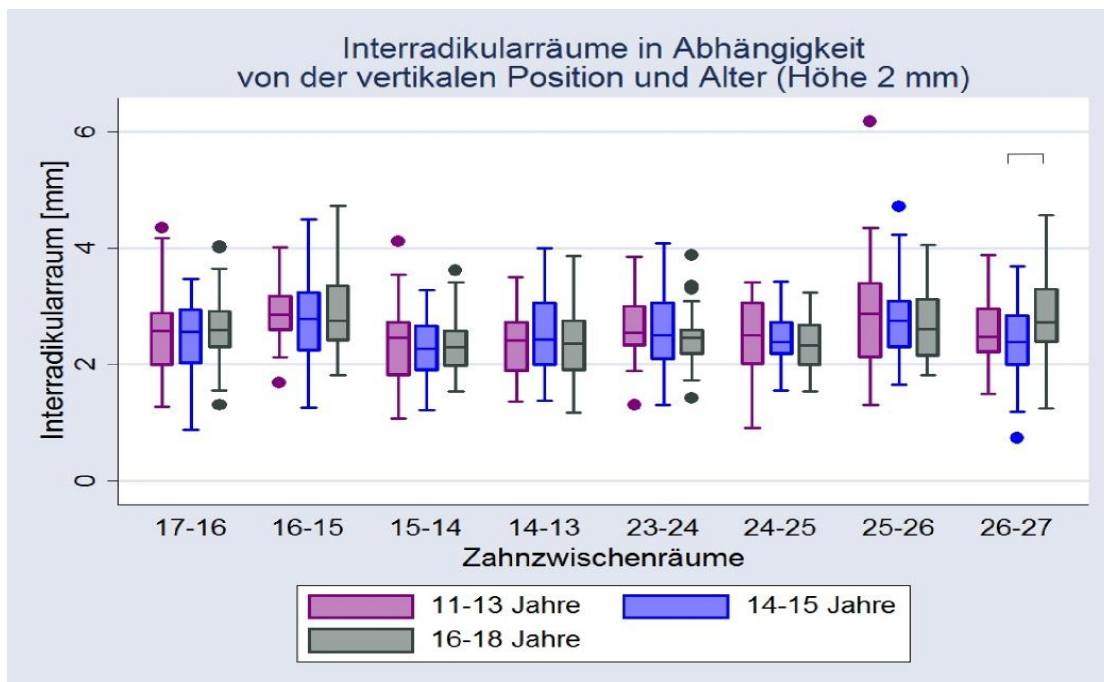


Abb. 24:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 2 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze in Altersgruppen unterteilt.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

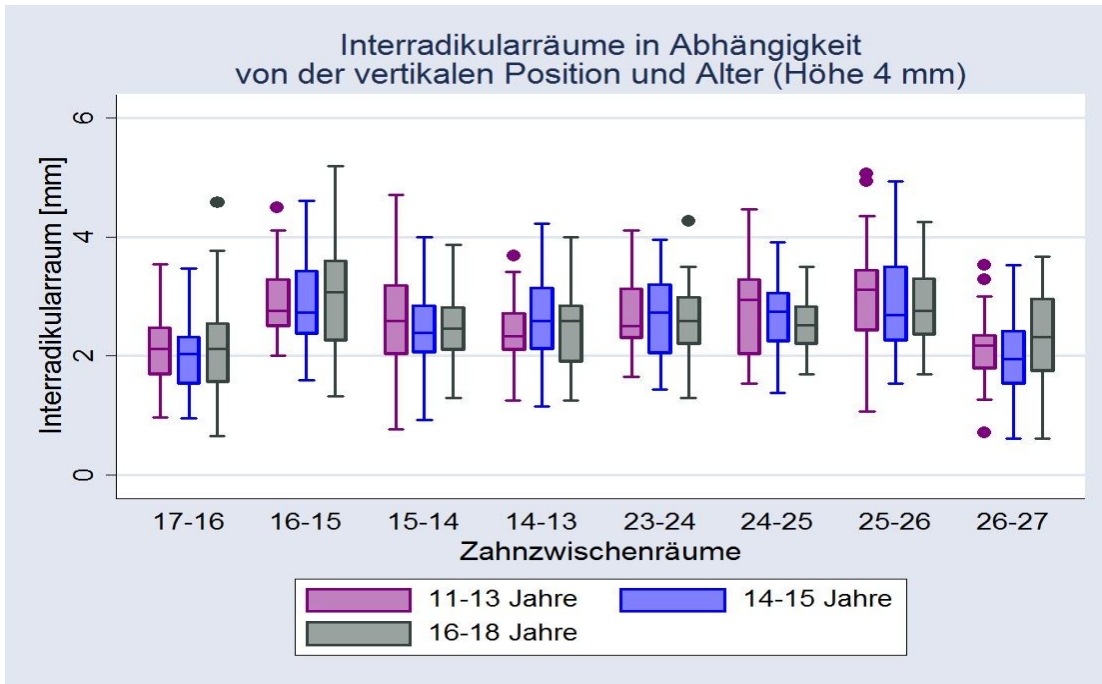


Abb. 25:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 4 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze in Altersgruppen unterteilt.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

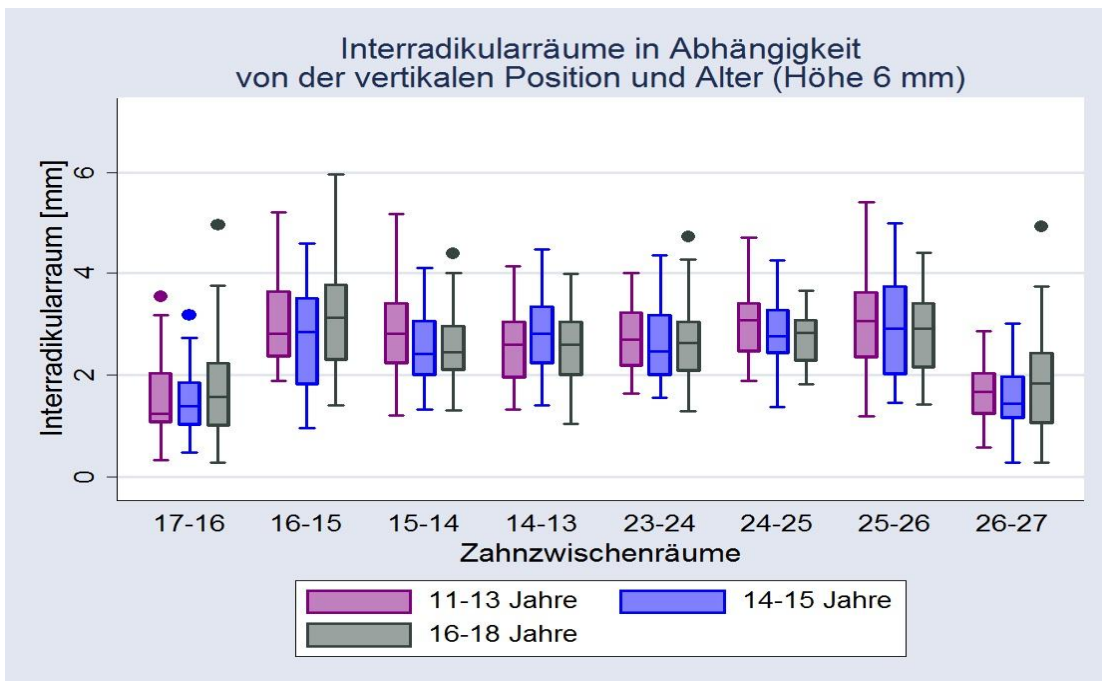


Abb. 26:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 6 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze in Altersgruppen unterteilt.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

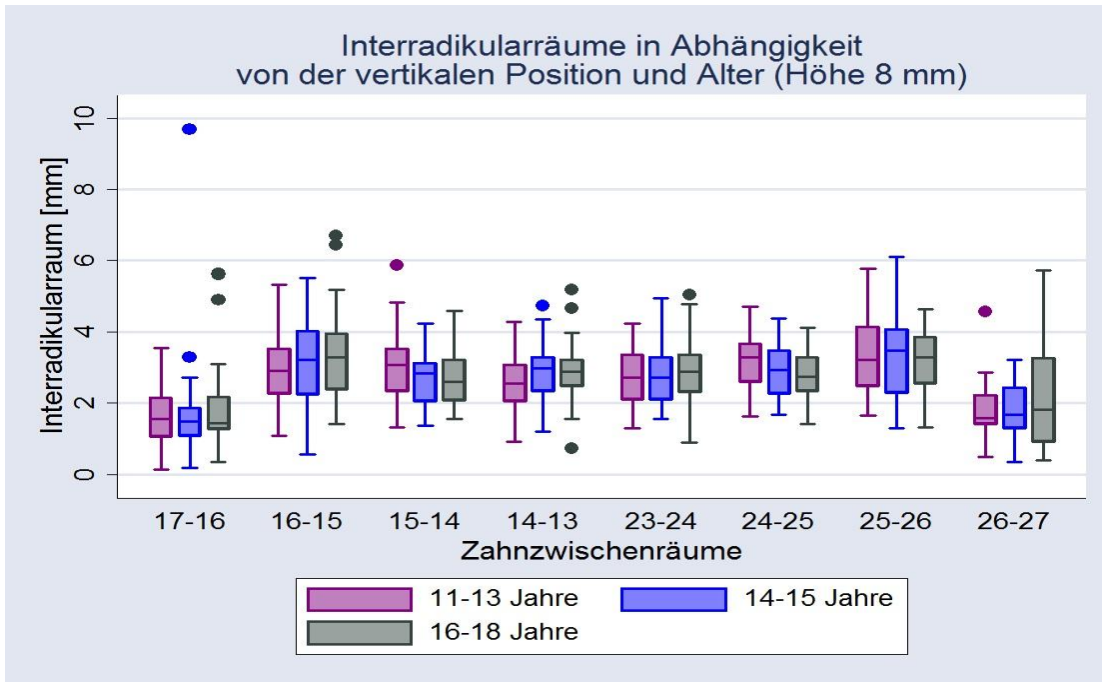


Abb. 27: Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 8 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze in Altersgruppen unterteilt.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

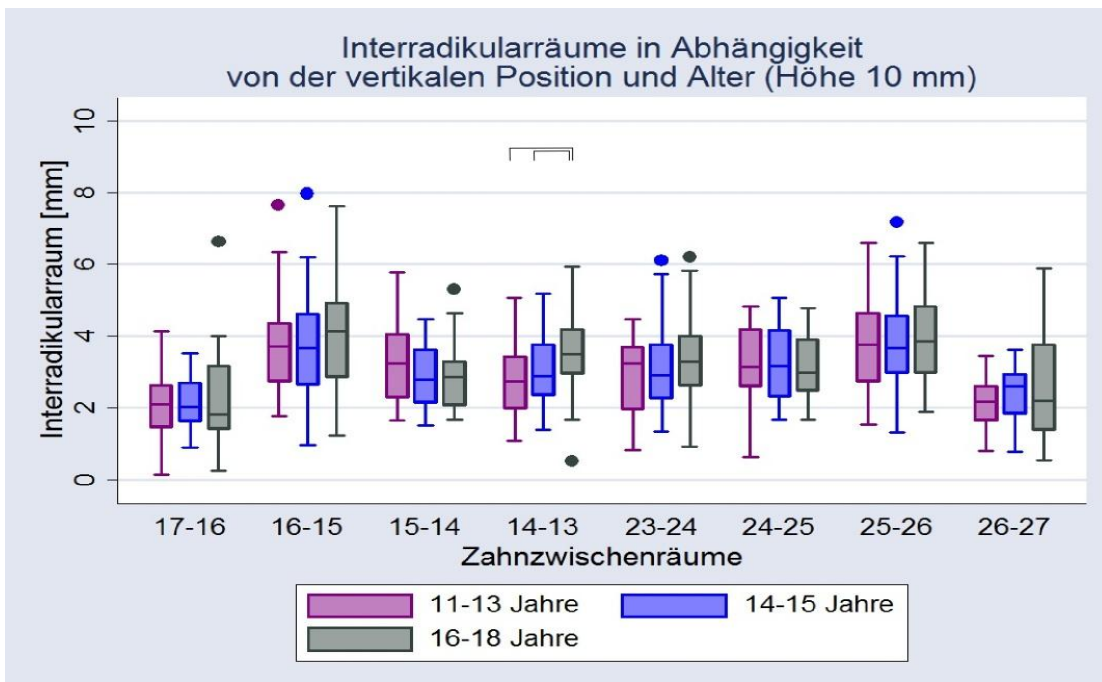


Abb. 28: Box-Whisker-Plot Darstellung der Interradikularräume in 10 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze in Altersgruppen unterteilt.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

4.1.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Der Vergleich der Häufigkeit aller drei Altersklassen mit einem interradikulären Abstand ≥ 3 mm zeigte auf folgenden Höhen signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- 10 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze wies der Zahnzwischenraum 14-13 in der Altersklasse 16-18 Jahre einen signifikant höheren Prozentsatz auf als bei den 11-13- und 14-15-jährigen Patienten.
- 2 mm und 4 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze wies der Zahnzwischenraum 24-25 in der Altersklasse 11-13 Jahre einen signifikant höheren Prozentsatz auf als bei den 16-18-jährigen Patienten.
- 6 mm und 8 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze wies der Zahnzwischenraum 26-27 in der Altersklasse 16-18 Jahre einen signifikant höheren Prozentsatz auf als bei den 11-13-jährigen Patienten und auf 2 mm und 8 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze gegenüber den 14-15-jährigen Patienten.

Die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede der prozentualen Auswertung zeigten keine eindeutige Altersabhängigkeit und weisen einem maximalen Unterschied von 14 % auf.

4.1.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

Obwohl einzelne signifikante rechts-links-Unterschiede auftraten, bestand keine klare Seitenabhängigkeit.

In der Altersgruppe 11-13 Jahre zeigte 14-13 zu 23-24 signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- Auf der 6 mm Höhe war der Abstand 14-13 signifikant kleiner als 23-24 mit einer Differenz im Median von 0,39 mm

In der Altersgruppe 14-15 Jahre zeigte 15-14 zu 24-25 und 14-13 zu 23-24 signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede mit einer im Median maximalen Differenz von 0,35 mm:

- Auf allen Höhen waren die Abstände 15-14 signifikant kleiner als 24-25.
- Auf der 10 mm Höhe war der Abstand 14-13 signifikant größer als 23-24.

In der Altersgruppe 16-18 Jahre zeigte 17-16 zu 26-27 und 16-15 zu 25-26 signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede mit einer im Median maximalen Differenz von 0,28 mm:

- Auf der 2 mm Höhe war der Abstand 17-16 signifikant kleiner als 26-27.
- Auf der 4 mm Höhe war der Abstand 16-15 signifikant größer als 25-26.

Die Verteilung der Häufigkeiten zeigte keine signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede.

4.2. Dicke der Kortikalis

4.2.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

In den Abbildungen 29-33 sind der Median, die Verteilung und die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede der Platzverhältnisse der buccalen und palatinalen Kortikalisdicke der insgesamt 102 Patienten (49 w / 53 m, durchschnittliches Alter: 14,6 Jahre) aufgeführt. Die Messungen erfolgten in Abständen von 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen den Zähnen 17 und 16, 16 und 15, 15 und 14, 14 und 13 sowie zwischen 23 und 24, 24 und 25, 25 und 26 und 26 und 27. Mit einer Ausnahme, buccal zwischen 16 und 15, wies die 4 mm Höhe immer das geringste Knochenangebot auf. Eine Kortikalisstärke von ≥ 1 mm war im Median sowohl buccal, als auch palatinal auf allen Höhen gegeben. Mit Ausnahme der 2 mm Höhe war die palatinale Kortikalis meist dicker. Die Dicke der Kortikalis nimmt tendenziell sowohl mit der Höhe, als auch in distomesialer Richtung zu.

Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zeigten sich auf nahezu allen Höhen einer Seite. Dabei fiel einerseits der Bereich distal des Caninus durch sein hohes Knochenangebot und andererseits distal des ersten Molaren durch sein geringes Knochenangebot auf.

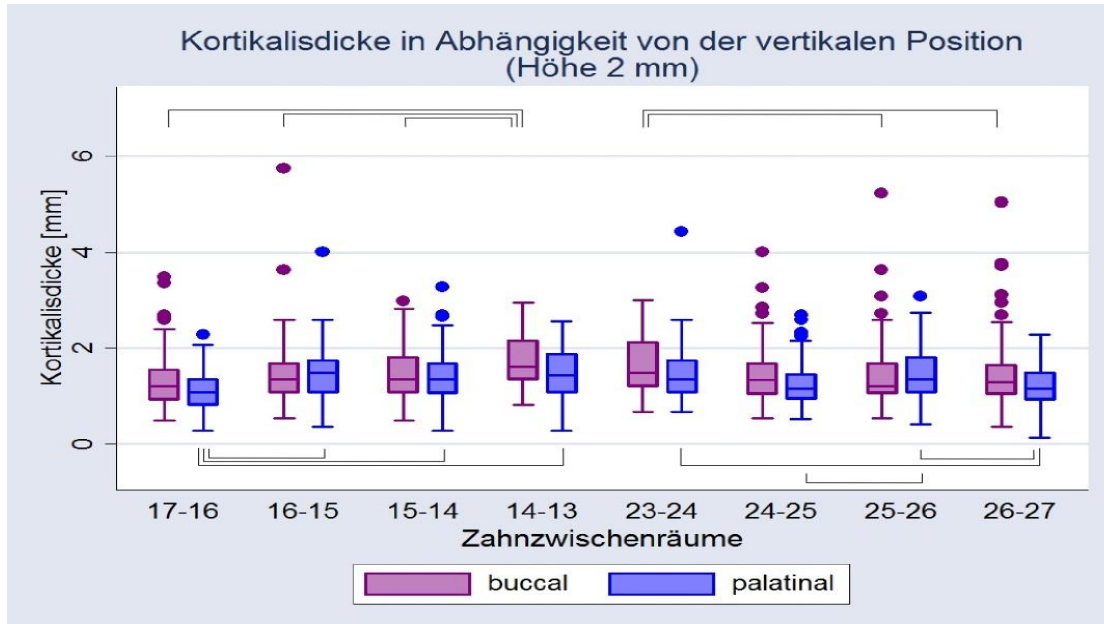


Abb. 29:

Box-Whisker-Plot der buccalen und palatinalen Kortikalis im Abstand von 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

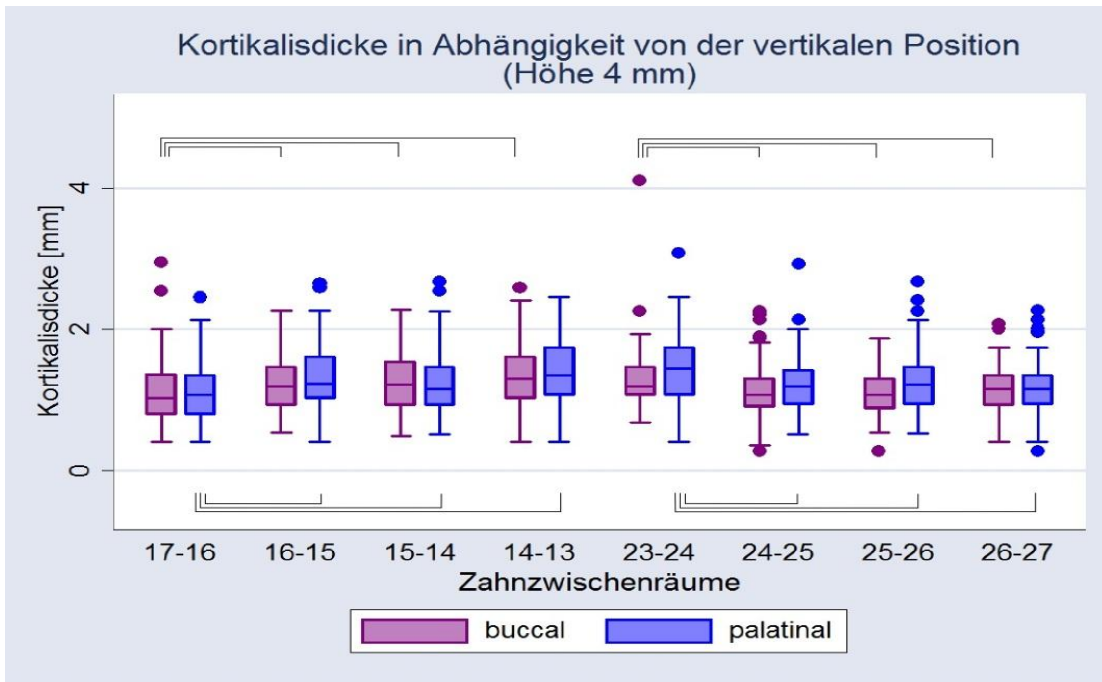


Abb. 30:

Box-Whisker-Plot der buccalen und palatinalen Kortikalis im Abstand von 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

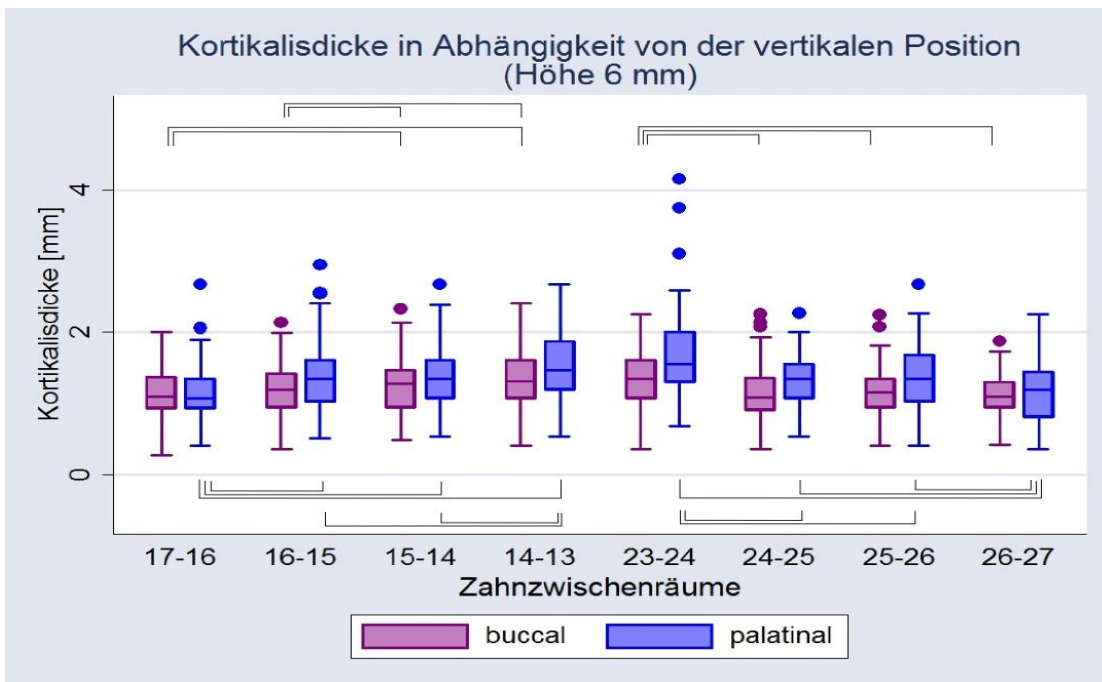


Abb. 31:

Box-Whisker-Plot der buccalen und palatinalen Kortikalis im Abstand von 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

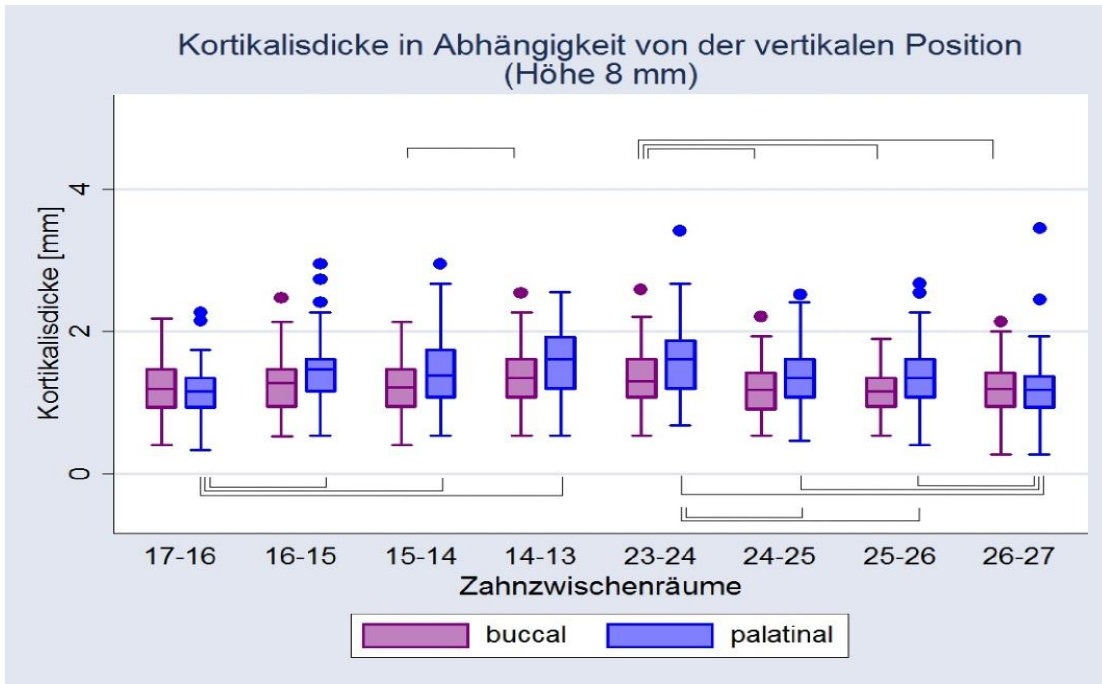


Abb. 32:

Box-Whisker-Plot der buccalen und palatinalen Kortikalis im Abstand von 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

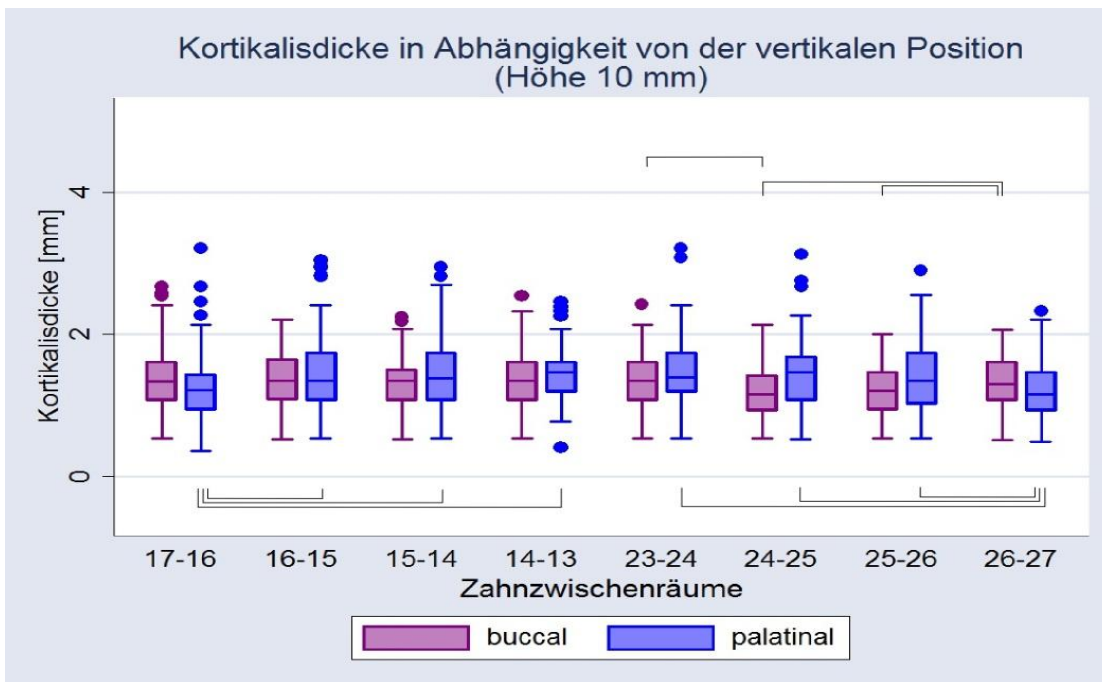


Abb. 33:

Box-Whisker-Plot der buccalen und palatinalen Kortikalis im Abstand von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

4.2.1.1. Prozentuale Auswertung

Die Abbildungen 34-38 zeigen die Häufigkeiten der buccalen und palatinalen Messstellen mit einer Kortikalisdicke von ≥ 1 mm am Gesamtpatientengut der 102 Jugendlichen. Die Hypothese, dass mindestens 70 % der Patienten ein Mindestknochenangebot von ≥ 1 mm aufweisen, konnte nicht bestätigt werden. Besonders 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze wurde dieser Wert teilweise deutlich unterschritten, im 6 mm Bereich hingegen wurden Ergebnisse um 70 % bis zu über 90 % erreicht.

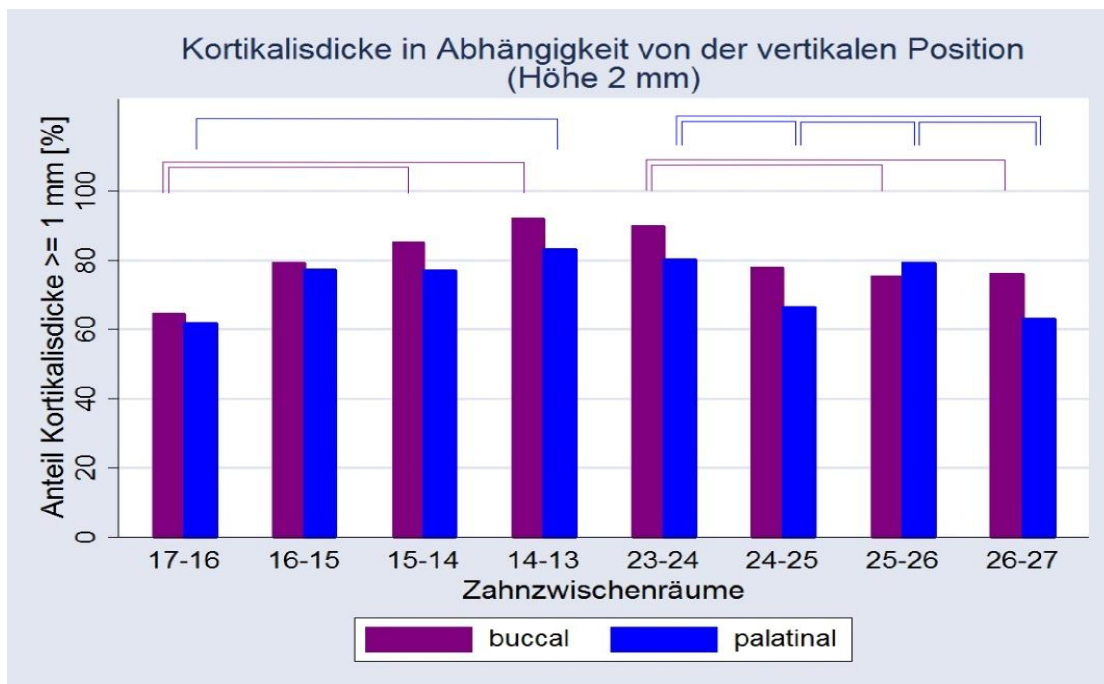


Abb. 34:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke im Abstand von 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatinalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

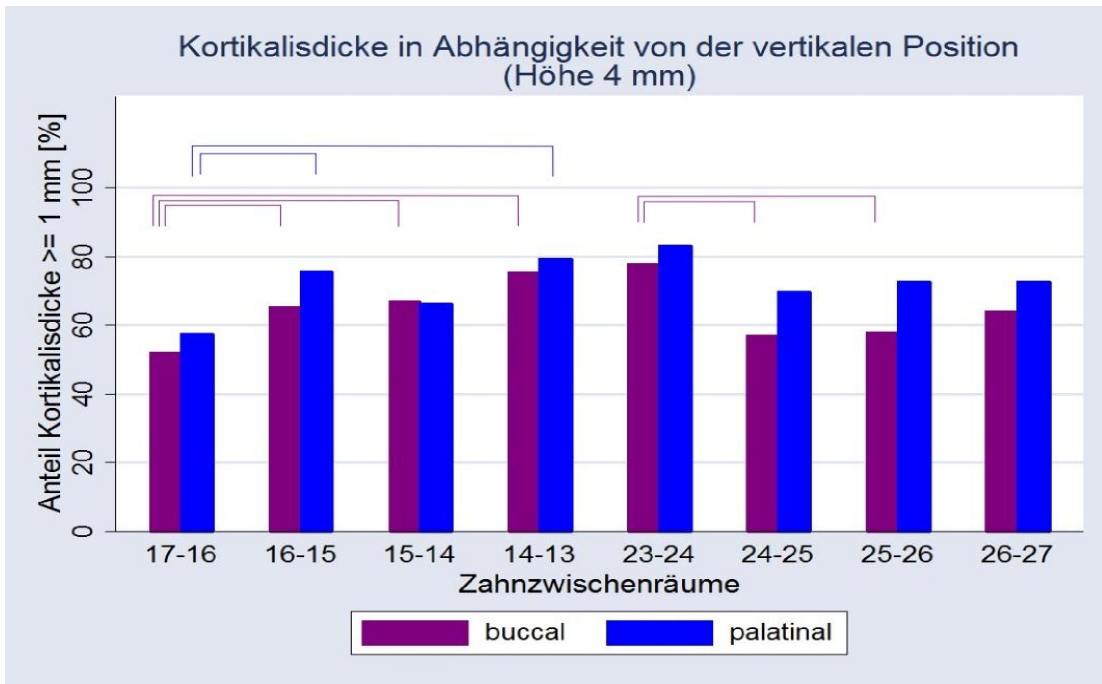


Abb. 35:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke im Abstand von 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatinalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

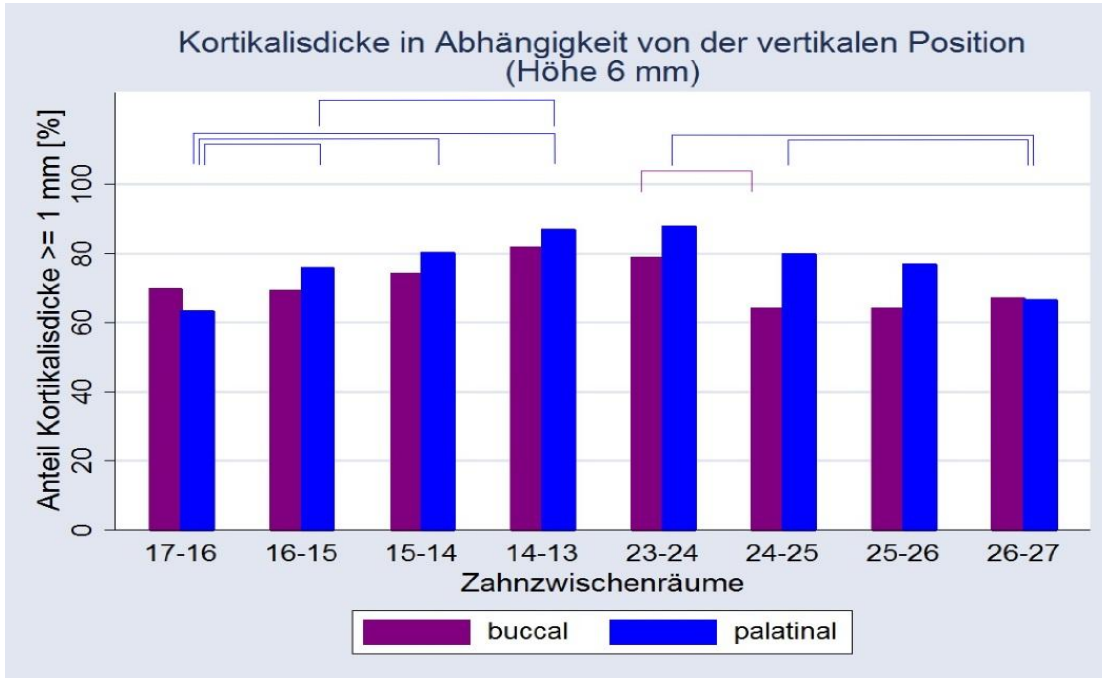


Abb. 36:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke im Abstand von 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatinalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

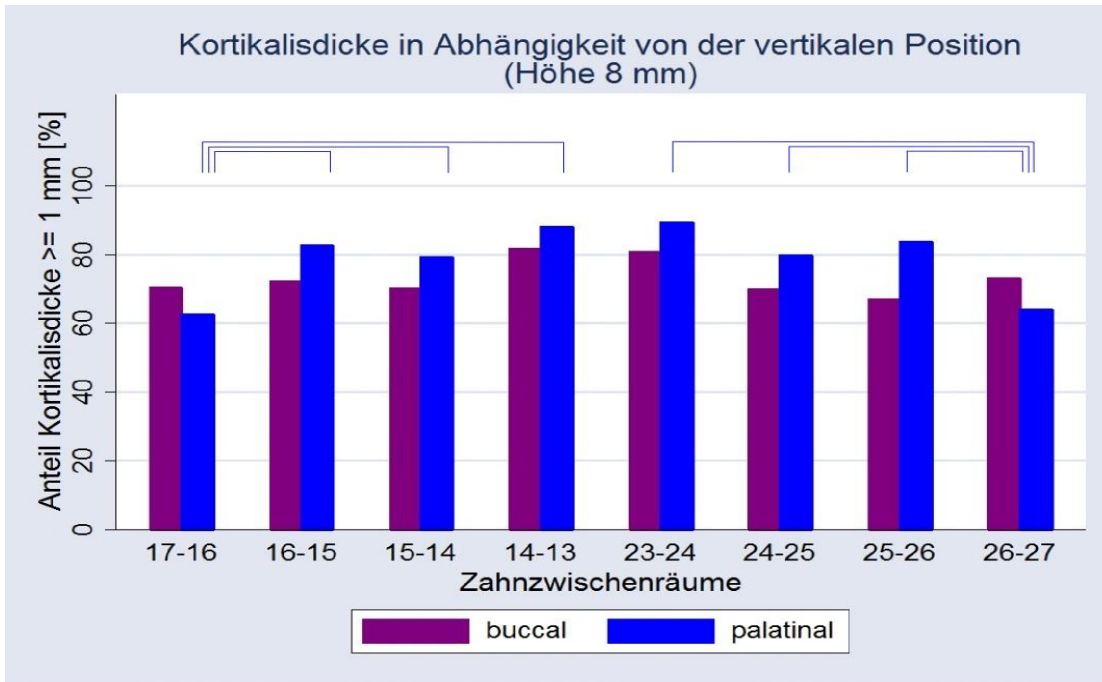


Abb. 37:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke im Abstand von 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

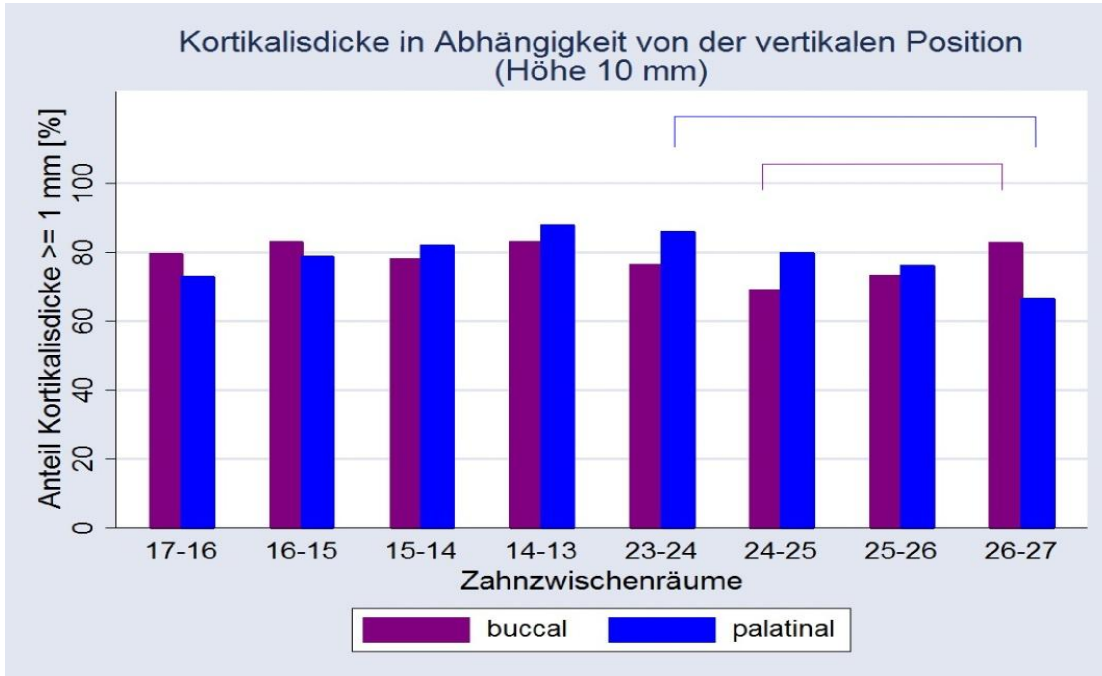


Abb. 38:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Messstellen mit ≥ 1 mm Kortikalisdicke im Abstand von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

4.2.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte

Die Zähne 16-15 zu 25-26 und 15-14 zu 24-25 zeigten buccal signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- 4 mm, 8 mm und 10 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze war die Kortikalisdicke bei 16-15 signifikant größer als bei 25-26.
- 4 mm, 6 mm und 10 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze war die Kortikalisdicke bei 15-14 signifikant größer als bei 24-25.

Die maximale Differenz im Median zwischen analogen buccalen Messstellen der rechten und linken Oberkieferhälfte betrug 0,13 mm.

Die Messergebnisse der palatinalen Kortikalis zeigten keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede der Seiten.

4 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze war sowohl buccal als auch palatinal zwischen 26-27 signifikant ($p < 0,05$) häufiger die Kortikalisstärke ≥ 1 mm als bei 17-16 (s. Abb. 35).

4.2.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Der Vergleich der buccalen und palatinalen Kortikalisstärken zwischen den Geschlechtern ergab statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- Die weiblichen Patienten zeigten gegenüber den männlichen Patienten statistisch signifikant größere Werte 8 mm und 10 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze an 17-16 und auf 8 mm Höhe an 26-27 buccal sowie auf 8 mm Höhe von 15-14 und 10 mm Höhe an 24-25 palatinal. Die maximale Differenz betrug im Median 0,26 mm.
- Die männlichen Patienten zeigten gegenüber den weiblichen Patienten statistisch signifikant größere Werte buccal 6 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze von 23-24. Die maximale Differenz betrug im Median 0,08 mm.

Der Vergleich der Häufigkeiten der buccalen und palatinalen Kortikalisstärke ≥ 1 mm der Geschlechter ergab folgende statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede:

- Die weiblichen Patienten zeigten gegenüber den männlichen Patienten signifikant häufiger Kortikalisdicken ≥ 1 mm auf 8 mm Höhe von 17-16 buccal und auf 2 mm Höhe von 23-24 sowie auf 4 mm Höhe von 25-26 palatinal. Die maximale Differenz der Häufigkeit von Kortikalisdicken ≥ 1 mm betrug 31 %.

- Die männlichen Patienten zeigten gegenüber den weiblichen Patienten einen statistisch signifikanten höheren Prozentsatz der Kortikalis von ≥ 1 mm palatinal auf der 6 mm Höhe von 23-24. Die maximale Differenz der Häufigkeit von Kortikalisdicken ≥ 1 mm betrug 15 %.

4.2.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Die Abbildungen 39-43 geben den Median und die Verteilung der buccalen und palatinalen Kortikalisstärken in den verschiedenen Altersgruppen an sowie signifikante ($p < 0,05$) Differenzen. Dargestellt sind die Messungen im Abstand von 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen den Zähnen 17-16, 16-15, 15-14, 14-13 sowie zwischen 23-24, 24-25, 25-26 und 26-27. Tendenziell konnte die stärkste Kortikalis bei den 16-18-Jährigen festgestellt werden, die Altersgruppen 11-13 und 14-15 Jahre zeigten keine einheitliche Rangfolge.

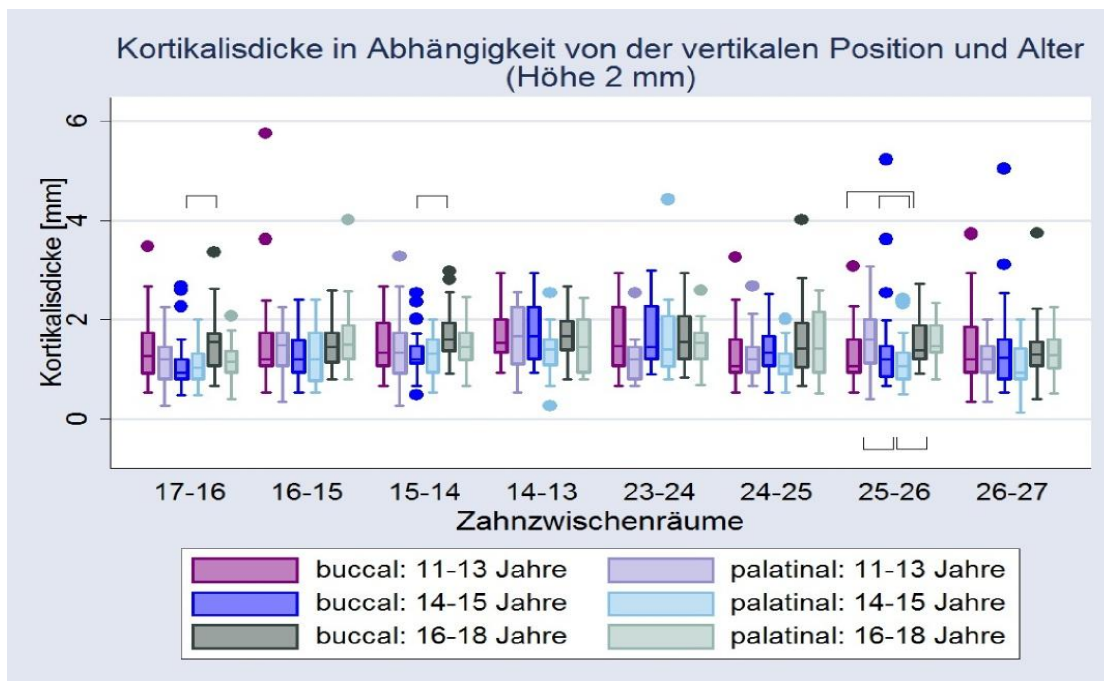


Abb. 39:

Box-Whisker-Plot Darstellung der buccalen und palatinalen Kortikalisdicke im Abstand von 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in den verschiedenen Altersgruppen.

□ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

▭ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

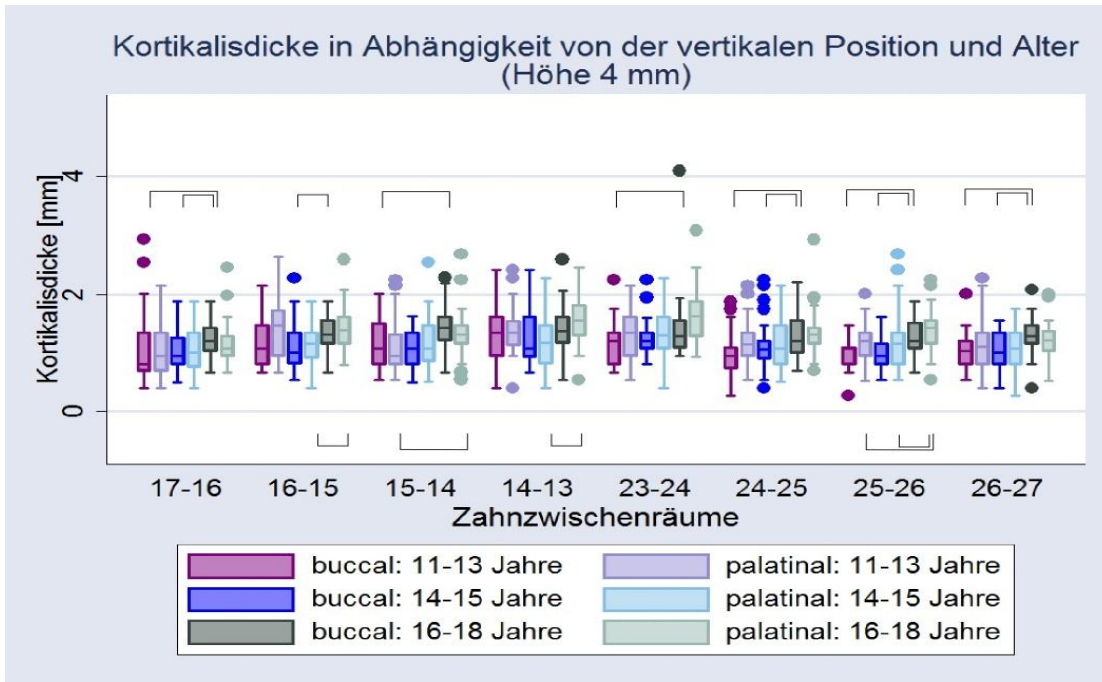


Abb. 40:

Box-Whisker-Plot Darstellung der buccalen und palatinalen Kortikalisdicke im Abstand von 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in den verschiedenen Altersgruppen.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

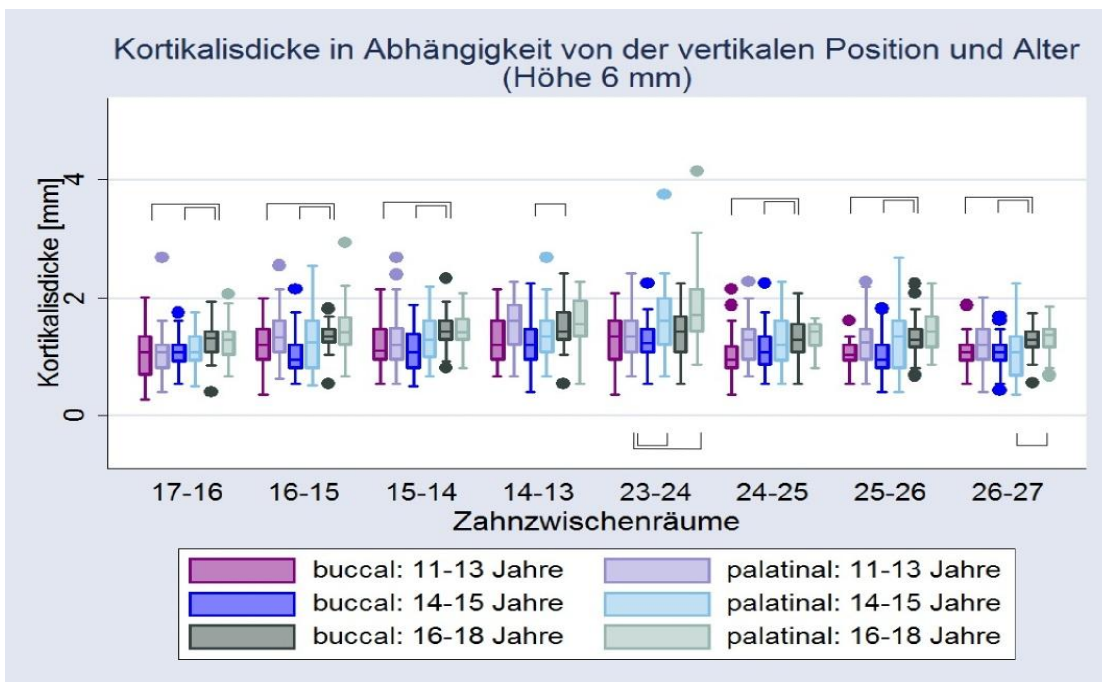


Abb. 41:

Box-Whisker-Plot Darstellung der buccalen und palatinalen Kortikalisdicke im Abstand von 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in den verschiedenen Altersgruppen.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

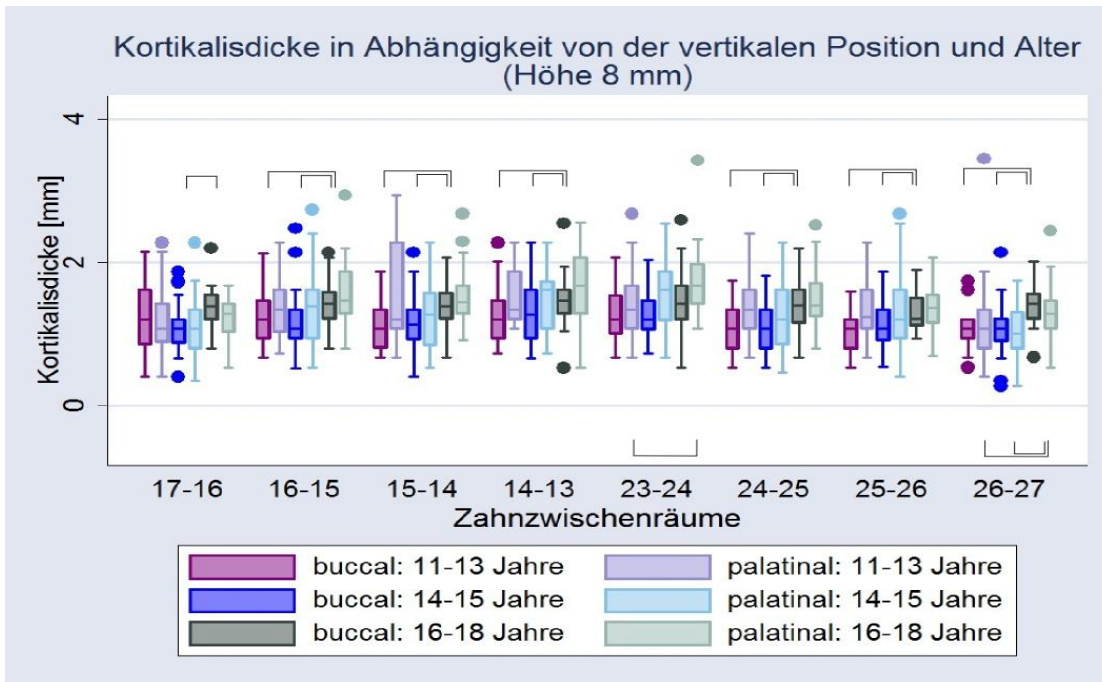


Abb. 42:

Box-Whisker-Plot Darstellung der buccalen und palatinalen Kortikalisdicke im Abstand von 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in den verschiedenen Altersgruppen.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

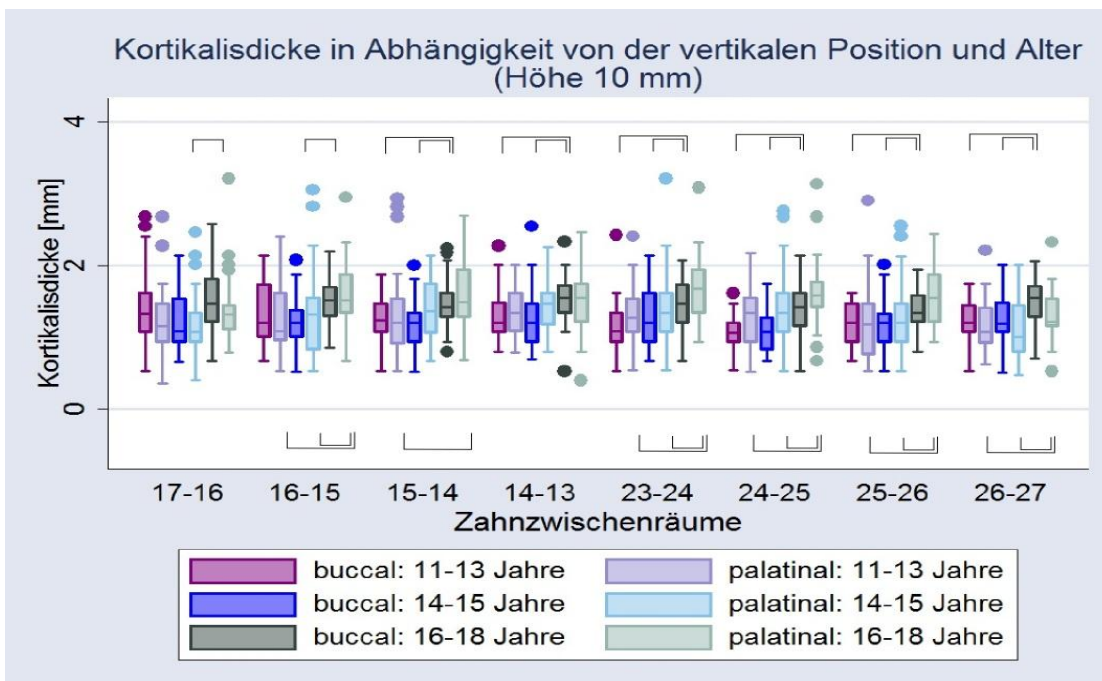


Abb. 43:

Box-Whisker-Plot Darstellung der buccalen und palatinalen Kortikalisdicke im Abstand von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in den verschiedenen Altersgruppen.

☐ = Signifikante Unterschiede der *buccalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

☐ = Signifikante Unterschiede der *palatinalen* Kortikalis auf dem 5%-Niveau

4.2.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Die Abbildungen 44-48 zeigen den Prozentsatz und die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede der buccalen und palatinalen Messstellen mit einer Kortikalisdicke ≥ 1 mm der drei Altersgruppen. Die Altersklasse 16-18 Jahre zeigte dabei mit wenigen Ausnahmen den höchsten Prozentsatz und lag stets oberhalb von 70 %. Die 11-13- und 14-15-Jährigen wiesen keine einheitliche Rangfolge auf und blieben im Bereich der attached Gingiva meist unterhalb von 70 %.

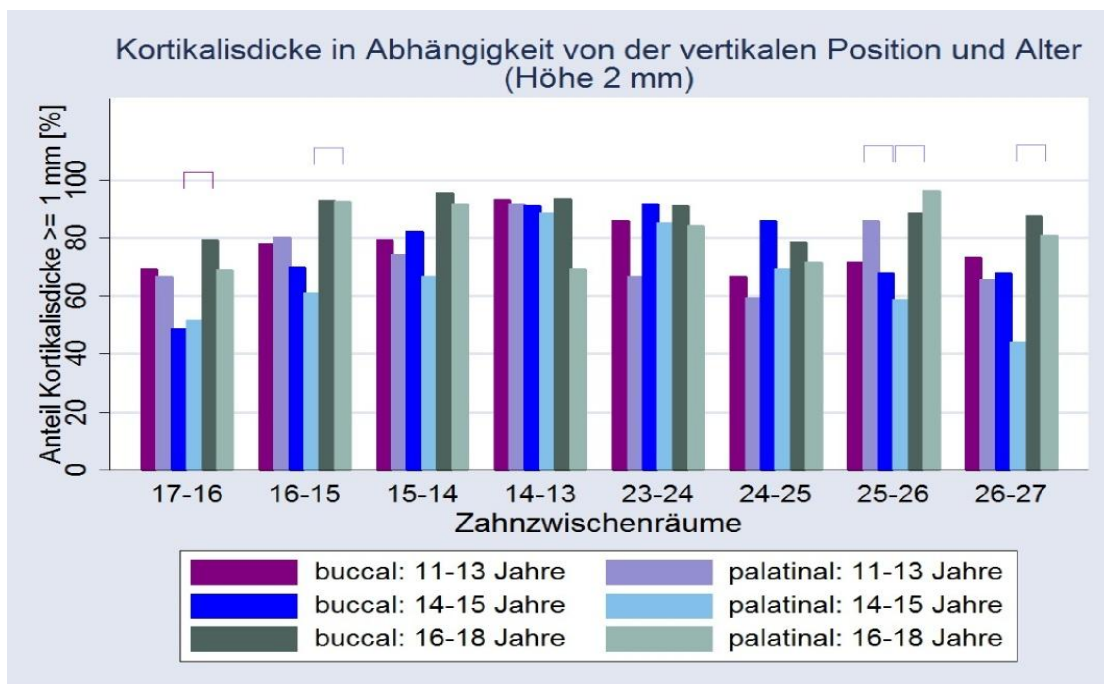


Abb. 44:

Balkendiagramm der Häufigkeit der buccalen und palatinalen Kortikalis mit einer Stärke von ≥ 1 mm in den verschiedenen Altersklassen im Abstand von 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatinalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

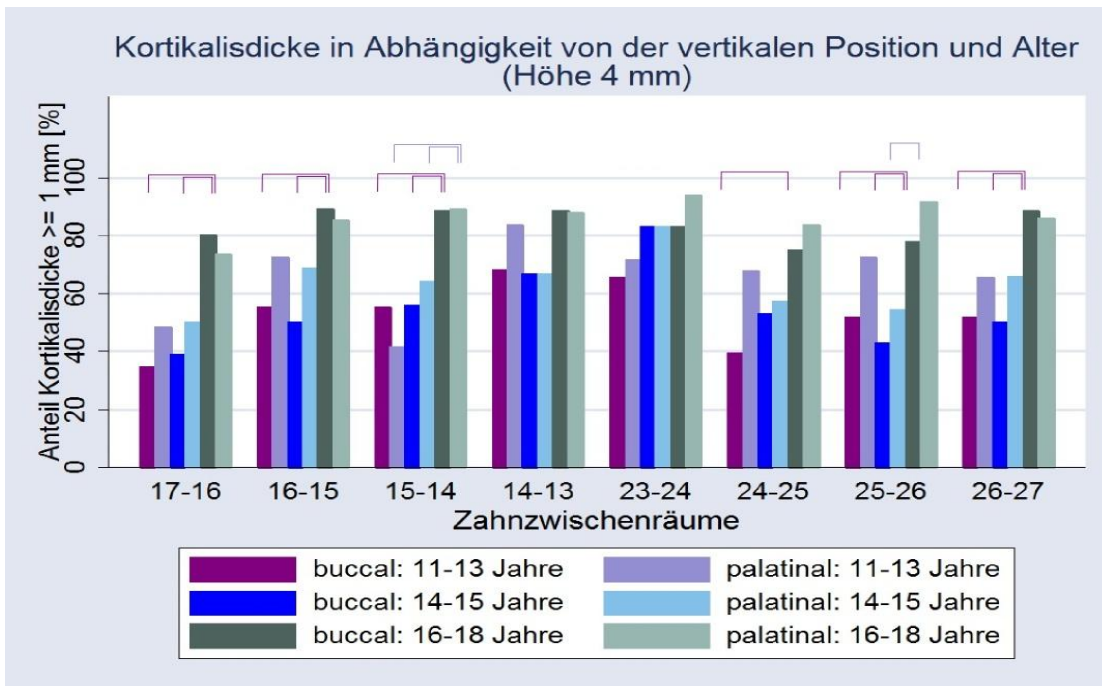


Abb. 45:

Balkendiagramm der Häufigkeit der buccalen und palatinalen Kortikalis mit einer Stärke von ≥ 1 mm in den verschiedenen Altersklassen im Abstand von 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatinalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

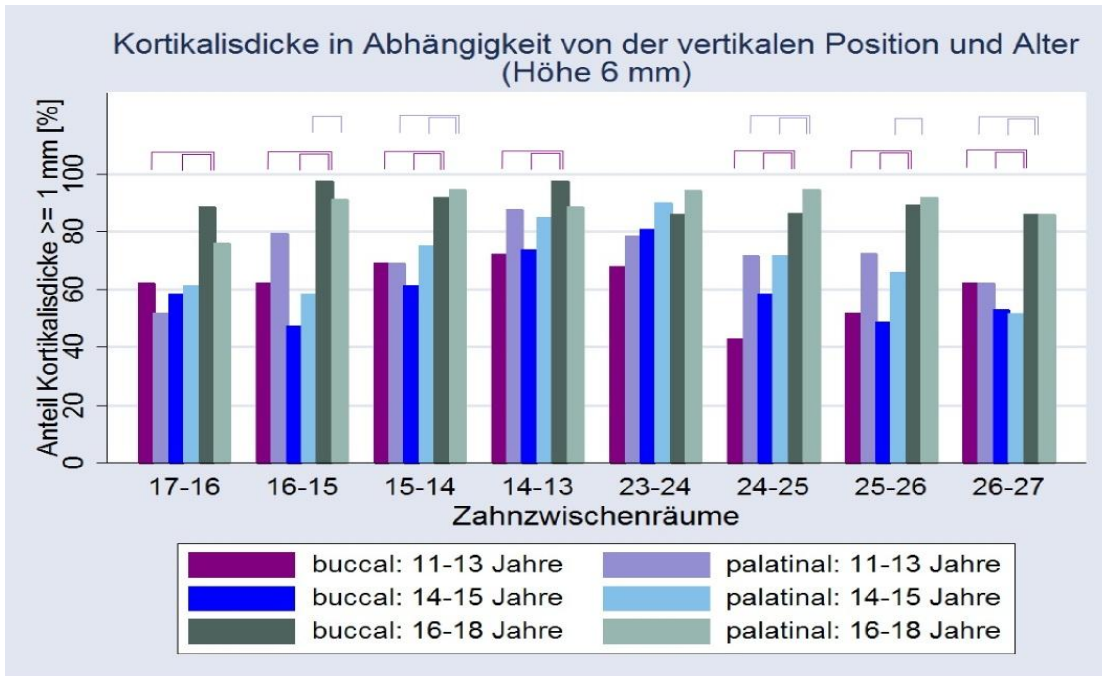


Abb. 46:

Balkendiagramm der Häufigkeit der buccalen und palatinalen Kortikalis mit einer Stärke von ≥ 1 mm in den verschiedenen Altersklassen im Abstand von 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *palatinalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der *buccalen* Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

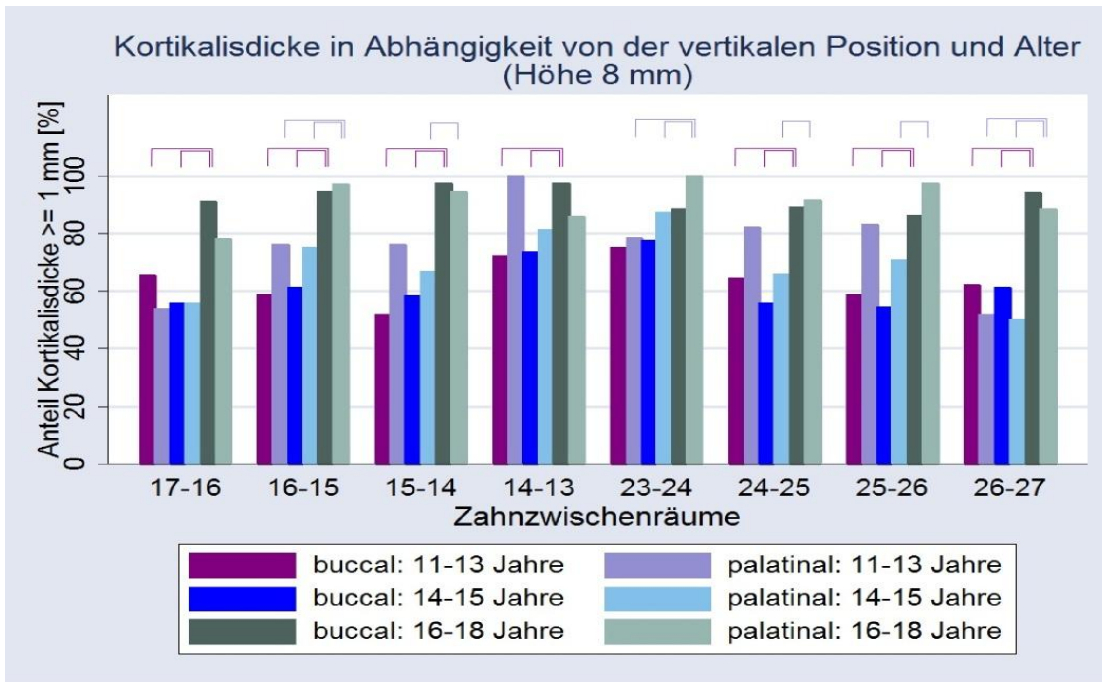


Abb. 47:

Balkendiagramm der Häufigkeit der buccalen und palatinalen Kortikalis mit einer Stärke von ≥ 1 mm in den verschiedenen Altersklassen im Abstand von 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der palatinalen Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der buccalen Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

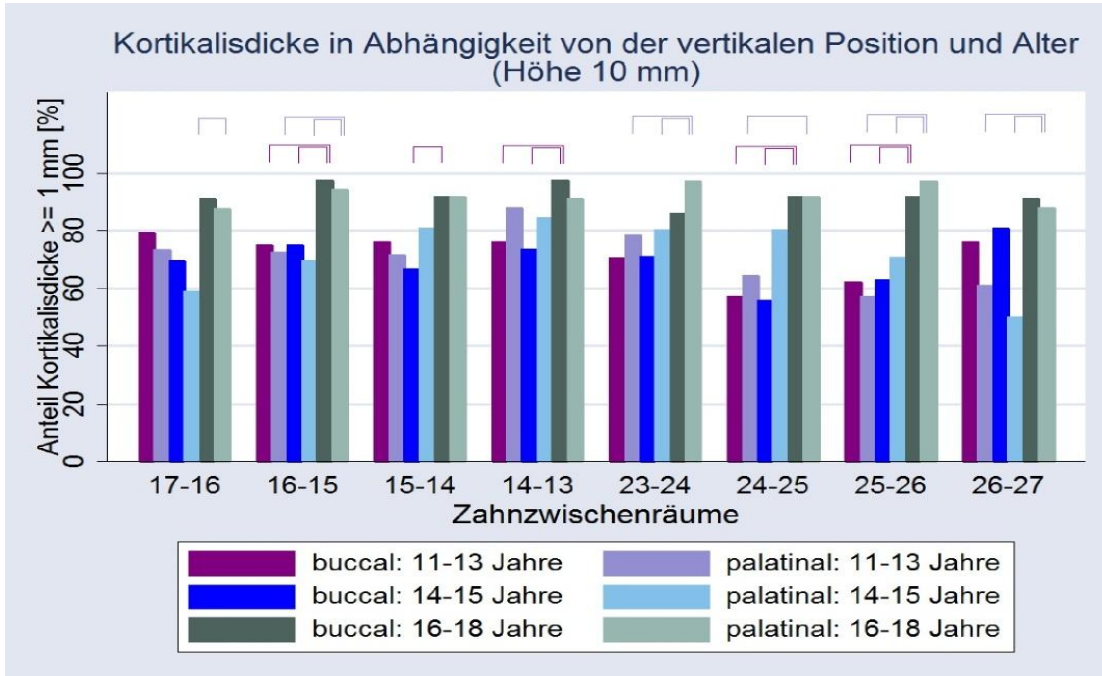


Abb. 48:

Balkendiagramm der Häufigkeit der buccalen und palatinalen Kortikalis mit einer Stärke von ≥ 1 mm in den verschiedenen Altersklassen im Abstand von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der palatinalen Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

□ = Signifikante Unterschiede der Häufigkeit der buccalen Kortikalis ≥ 1 mm auf dem 5%-Niveau

4.2.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

In der Altersgruppe 11-13 Jahre fanden sich folgende signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- Buccal war auf 4 mm und 10 mm Höhe die Kortikalisstärke zwischen 16 und 15 signifikant größer als zwischen 25 und 26. Die Kortikalisstärke von 15-14 war auf 4 mm, 6 mm und 10 mm Höhe größer als 24-25 und 14-13 auf 4 mm Höhe signifikant größer als 23-24. Die maximale rechts-links-Differenz betrug im Median 0,27 mm, eine Mindeststärke der Kortikalis von ≥ 1 mm war im Median stets vorhanden.
Palatinal ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

In der Altersgruppe 14-15 Jahre fand sich folgender signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied:

- Buccal auf 2 mm Höhe war die Kortikalisstärke zwischen 17 und 16 signifikant kleiner als 26 und 27, palatinal ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die maximale rechts-links-Differenz betrug im Median 0,27 mm, eine Mindeststärke der Kortikalis von ≥ 1 mm war im Median stets vorhanden.
Palatinal ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

In der Altersgruppe 16-18 Jahre fanden sich folgende signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- Buccal auf 8 mm und 10 mm Höhe war die Kortikalisstärke zwischen 16 und 15 signifikant größer als zwischen 25 und 26, ebenso war sie auf 4 mm und 6 mm Höhe zwischen 15 und 14 signifikant größer als zwischen 24 und 25. Die maximale rechts-links-Differenz betrug im Median 0,13 mm, eine Mindeststärke der Kortikalis von ≥ 1 mm war im Median stets vorhanden.
Palatinal ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

4.3. Breite des Alveolarfortsatzes

4.3.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

In der Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Werte der Breite des Alveolarfortsatzes aufgeführt nebst Standardabweichung (SD). Die Messungen erfolgten an 102 Patienten in Abständen von 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen den Zähnen 17 und 16, 16 und 15, 15 und 14, 14 und 13 sowie zwischen 23 und 24, 24 und 25, 25 und 26 und 26 und 27.

Es war eine Breitenzunahme sowohl von mesial nach distal, als auch von koronal nach apikal erkennbar. Alle Höhen einer Seite wiesen statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede der Alveolarfortsatzbreite auf.

Tab. 1: Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) in mm der Breite des Alveolarfortsatzes.

SZG = Schmelz-Zement-Grenze.

Abstand zur SZG	Interradikularraum							
	17-16	16-15	15-14	14-13	23-24	24-25	25-26	26-27
	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD
2 mm	12,99 1,75	10,91 1,71	8,96 1,61	7,11 2,21	6,96 1,88	8,64 1,72	10,65 1,86	13,12 2,21
4 mm	14,67 1,4	12,55 1,42	10,43 1,27	9,20 1,36	9,37 1,31	10,42 1,21	12,49 1,49	14,84 1,59
6 mm	15,26 1,50	13,01 1,56	10,45 1,37	9,65 1,33	9,96 1,84	10,60 1,39	12,73 2,25	15,38 1,60
8 mm	15,67 1,52	13,30 1,77	10,46 1,63	9,68 1,57	10,10 1,80	10,75 1,59	13,45 1,73	15,69 1,69
10 mm	16,30 2,00	13,81 1,93	10,82 1,93	9,80 1,84	10,33 2,19	11,10 1,89	14,14 1,93	16,00 2,19

4.3.1.1. Prozentuale Auswertung

Tabelle 2 und die Abbildungen 49-53 zeigen den prozentualen Anteil der Patienten, die eine Alveolarfortsatzbreite von ≥ 6 mm (Tab. 2) bzw. ≥ 8 mm (Abb. 48-52) aufwiesen. Die Auswertung erfolgte am Gesamtpatientengut der 102 Jugendlichen. In Tabelle 2 stellen rot

gekennzeichnete Prozentangaben Werte unter 97 % dar und zugleich statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zu allen übrigen Höhen einer Seite. Aus den Abb. 48-52 sind ab 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze und mit Ausnahme der Interradikularräume zwischen dem Caninus und des ersten Prämolaren Werte stets oberhalb von 95 % ersichtlich.

Tab. 2: Prozentsatz [%] der Patienten mit einer Alveolarfortsatzbreite von ≥ 6 mm. **Rot** = Werte < 97 %, **SZG** = Schmelz-Zement-Grenze

Abstand zur SZG	Interradikularraum							
	17-16	16-15	15-14	14-13	23-24	24-25	25-26	26-27
	Os	Os	Os	Os	Os	Os	Os	Os
2 mm	100	98,97	97,87	69,23	66,67	91,75	98,98	98,97
4 mm	100	100	100	100	100	100	100	100
6 mm	100	100	100	100	98,94	100	98	100
8 mm	100	100	100	98,94	100	100	100	100
10 mm	100	100	100	100	100	100	100	100

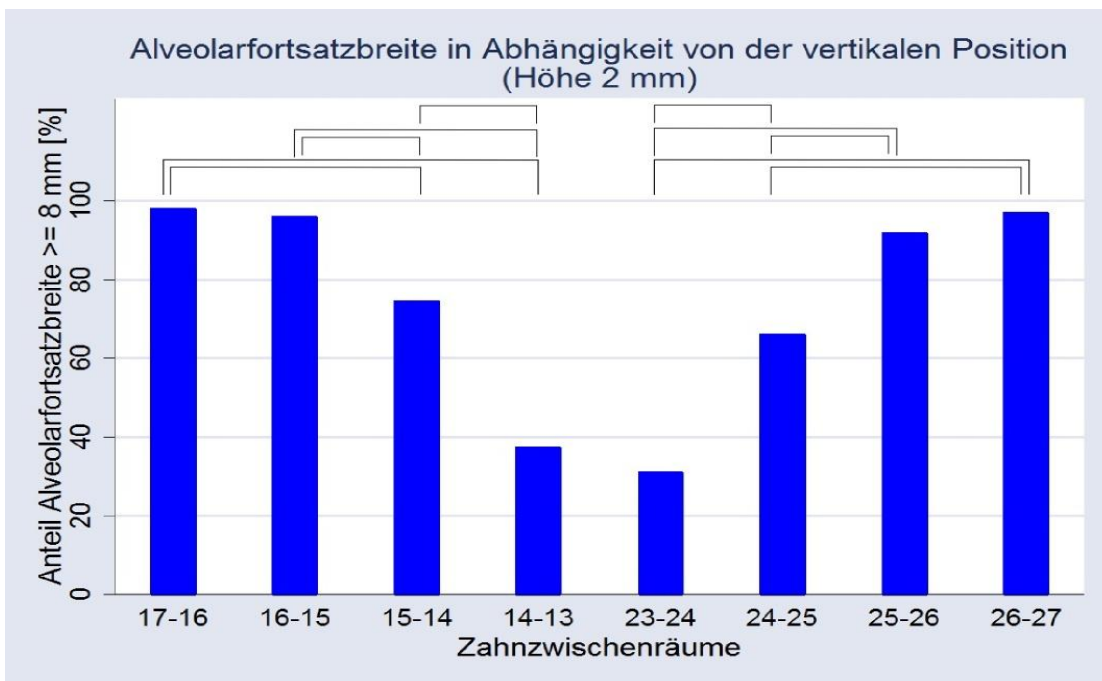


Abb. 49:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Breite des Alveolarfortsatzes mit einer transversalen Stärke von ≥ 8 mm in 2 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

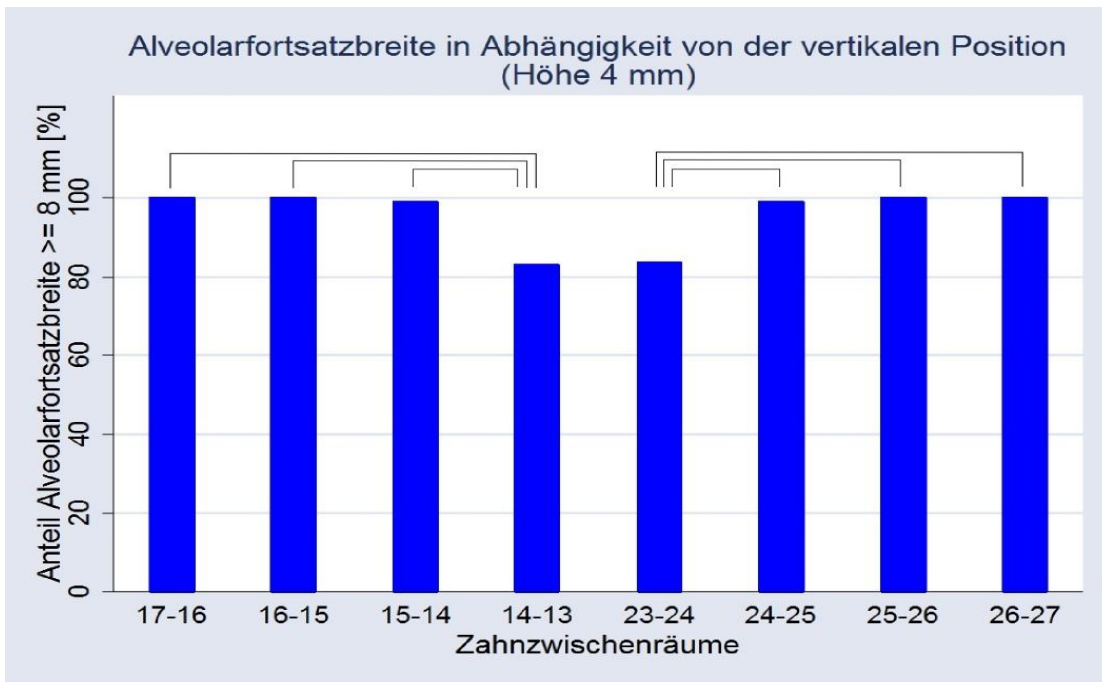


Abb. 50:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Breite des Alveolarfortsatzes mit einer transversalen Stärke von ≥ 8 mm in 4 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

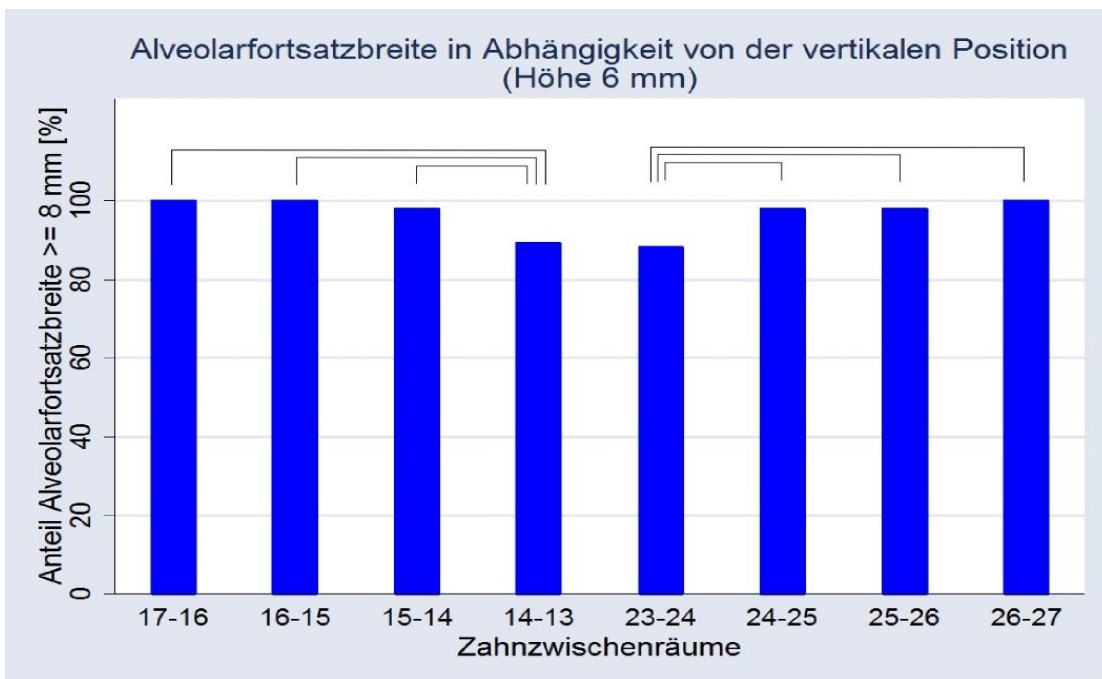


Abb. 51:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Breite des Alveolarfortsatzes mit einer transversalen Stärke von ≥ 8 mm in 6 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

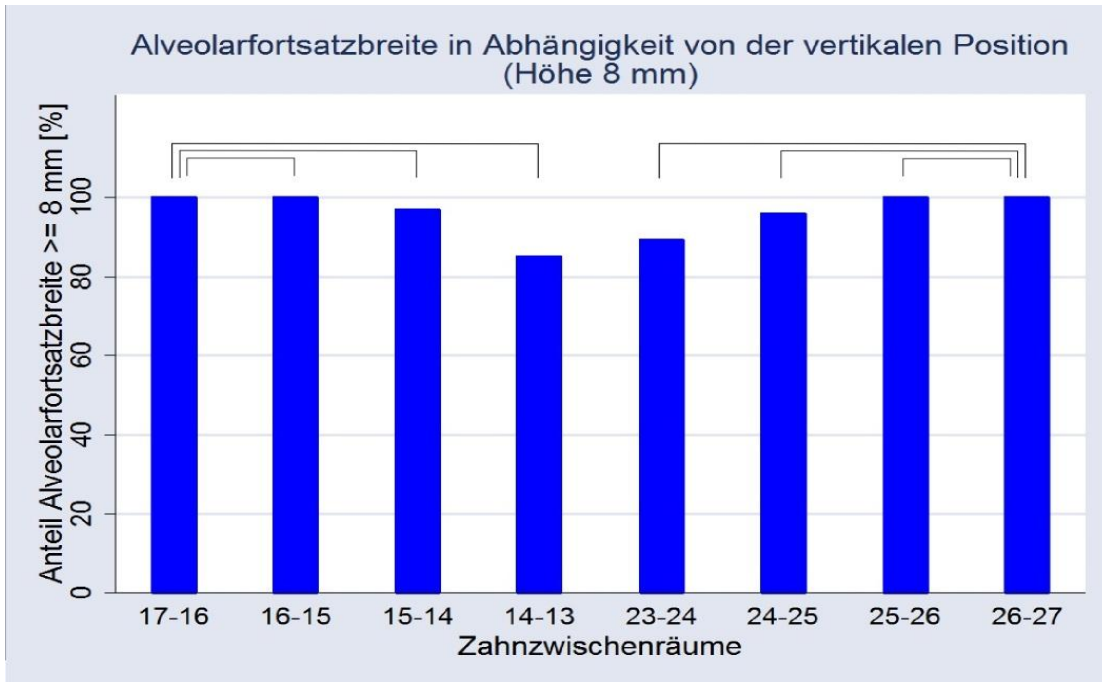


Abb. 52:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Breite des Alveolarfortsatzes mit einer transversalen Stärke von ≥ 8 mm in 8 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

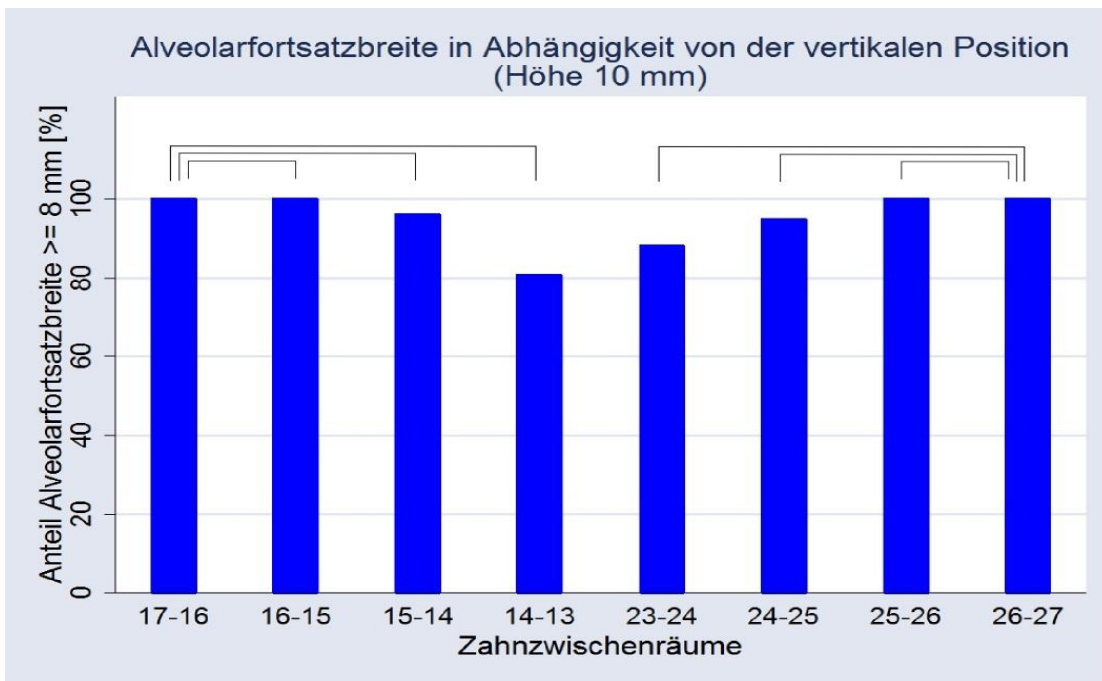


Abb. 53:

Balkendiagramm der Häufigkeit der Breite des Alveolarfortsatzes mit einer transversalen Stärke von ≥ 8 mm in 10 mm Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

4.3.2. Unterschiede zwischen der rechten und der linken Oberkieferhälfte

Im Folgenden sind signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede analoger Alveolarfortsatzbreiten der rechten und linken Oberkieferhälfte aufgeführt. Die maximale rechts-links-Differenz betrug im Median 0,38 mm wobei die linke Seite stets das größere Knochenangebot aufwies.

- Auf 10 mm Höhe war der Alveolarfortsatz zwischen 16 und 15 signifikant kleiner als zwischen 25 und 26.
- Auf 6 mm, 8 mm und 10 mm Höhe war der Alveolarfortsatz zwischen 15 und 14 signifikant kleiner als zwischen 24 und 25.
- Auf 6 mm, 8 mm und 10 mm Höhe war der Alveolarfortsatz zwischen 14 und 13 signifikant kleiner als zwischen 23 und 24.

Der Vergleich der Häufigkeiten der Breite des Alveolarfortsatzes (≥ 6 mm bzw. ≥ 8 mm) ergab keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen der rechten und linken Oberkieferhälfte.

4.3.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Der Vergleich der Alveolarfortsatzbreite zwischen den Geschlechtern ergab mit wenigen Ausnahmen an allen Messstrecken statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede. Dabei zeigten die männlichen Patienten ausnahmslos größere Werte als die weiblichen. Im Median betrug die maximale Differenz 1,91 mm.

Der Vergleich der Alveolarfortsatzbreite ≥ 6 mm zwischen den Geschlechtern ergab keine statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede. Für Alveolarfortsatzbreiten ≥ 8 mm zeigten die männlichen Patienten jeweils den höheren Wert und diese Unterschiede waren signifikant ($p < 0,05$) mit Häufigkeitsunterschieden zwischen 36 % und 83 %:

- 8 mm und 10 mm Höhe an den Zähnen 13-14
- 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm Höhe an den Zähnen 23-24
- 8 mm Höhe an den Zähnen 24-25

4.3.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Der Vergleich der Alveolarfortsatzbreite aller drei Altersklassen zeigte mit wenigen Ausnahmen statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede (Abb. 53-57). Dabei zeigten die 11-13-Jährigen tendenziell die größten Werte, gefolgt von den 14-15-Jährigen. Die Altersklasse 16-18 Jahre wies an allen Messstrecken die kleinsten Werte auf. Lediglich auf 10 mm Höhe an 17-16 und 2 mm Höhe an 23-24 der 14-15-Jährigen überstieg den Wert der Altersklasse 11-13 Jahre marginal.

Zusammenfassend konnte im Altersverlauf zwischen 11 und 18 Jahren eine Abnahme der Breite des Alveolarknochens beobachtet werden.

Die Abbildungen 54-58 geben den Median, die Verteilung und die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede der Alveolarfortsatzbreite der Altersgruppen an. Es sind die Messungen zwischen den Zähnen 17-16, 16-15, 15-14, 14-13, sowie zwischen 23-24, 24-25, 25-26 und 26-27 im Abstand von 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm und 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze dargestellt.

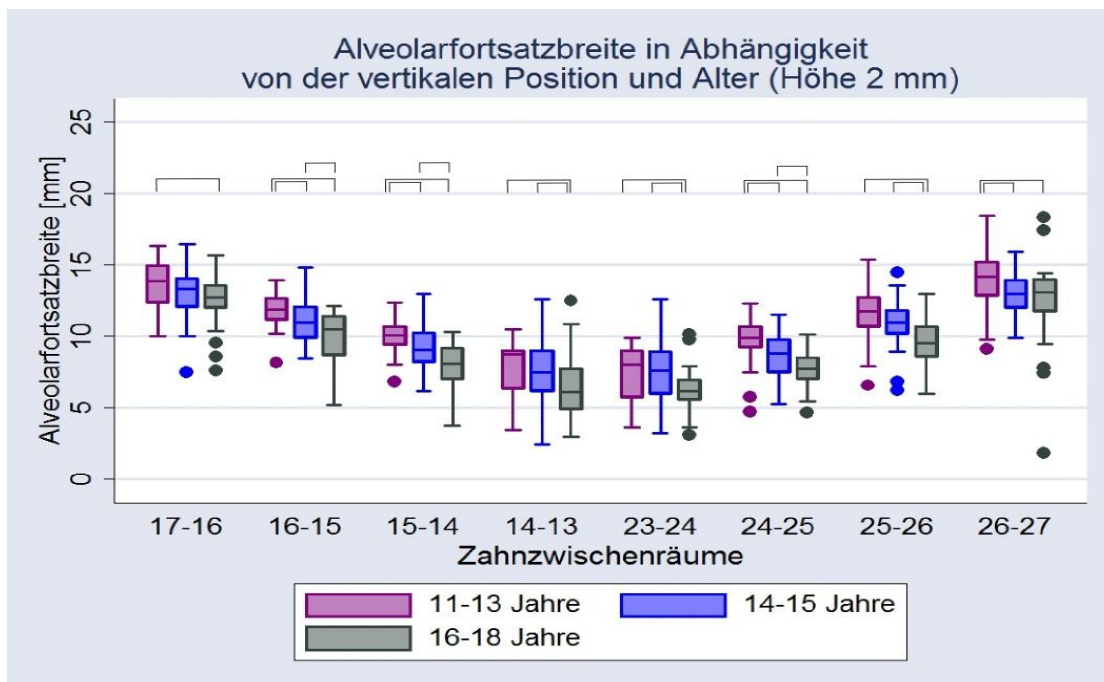


Abb. 54:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Alveolarfortsatzbreiten der Altersgruppen im Abstand von 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

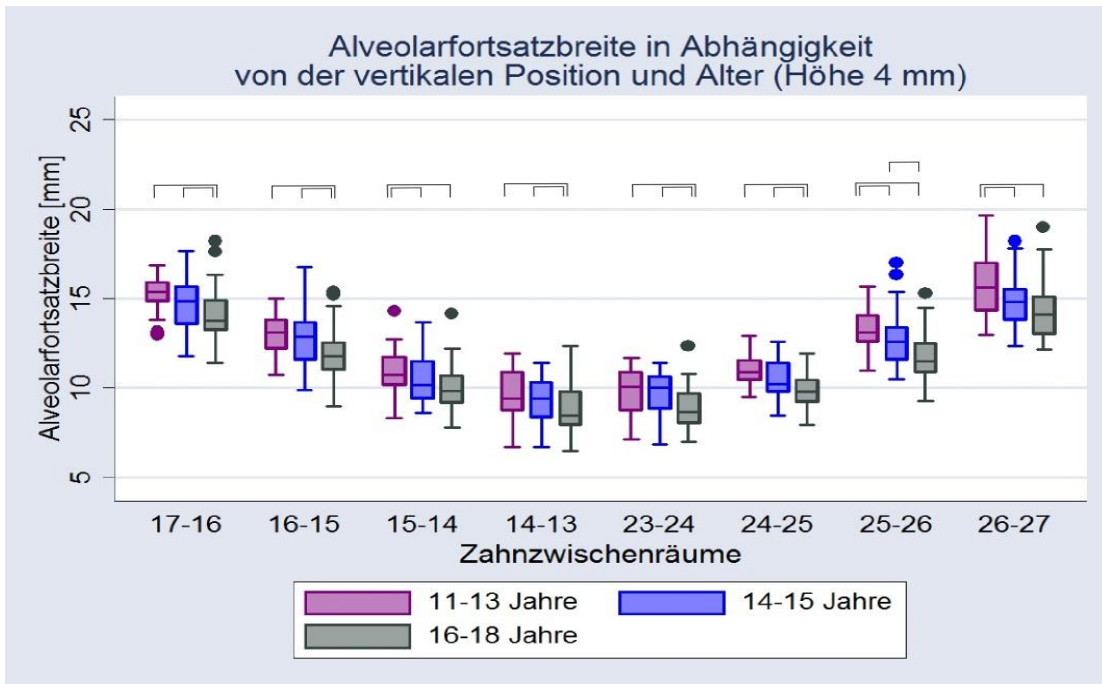


Abb. 55:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Alveolarfortsatzbreiten der Altersgruppen im Abstand von 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

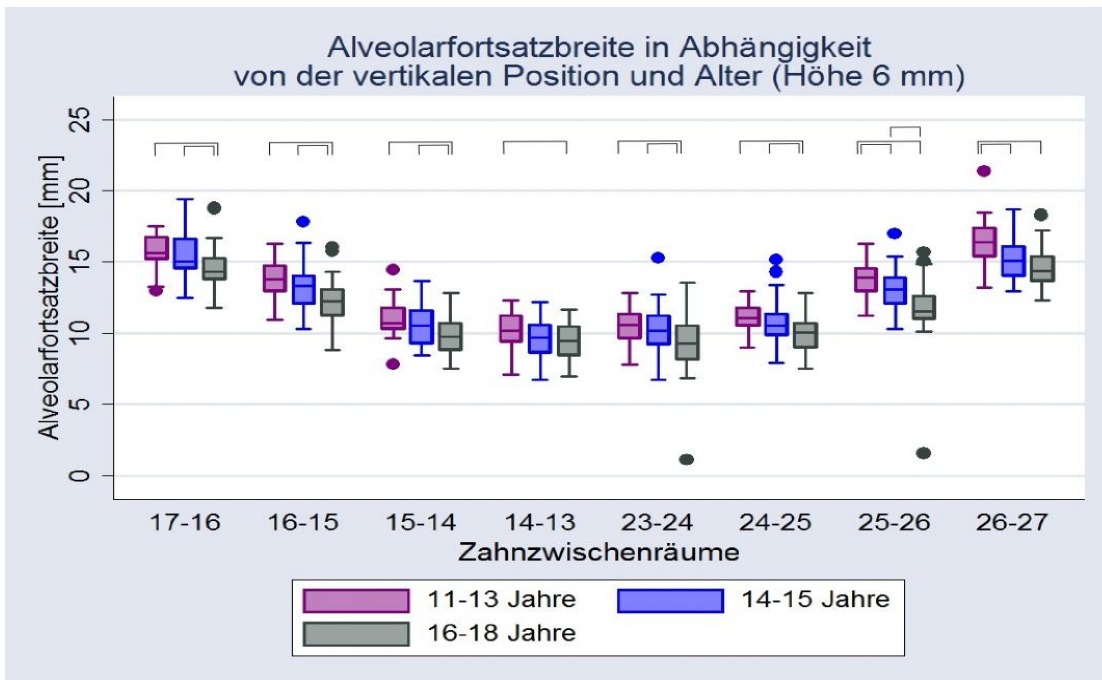


Abb. 56:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Alveolarfortsatzbreiten der Altersgruppen im Abstand von 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

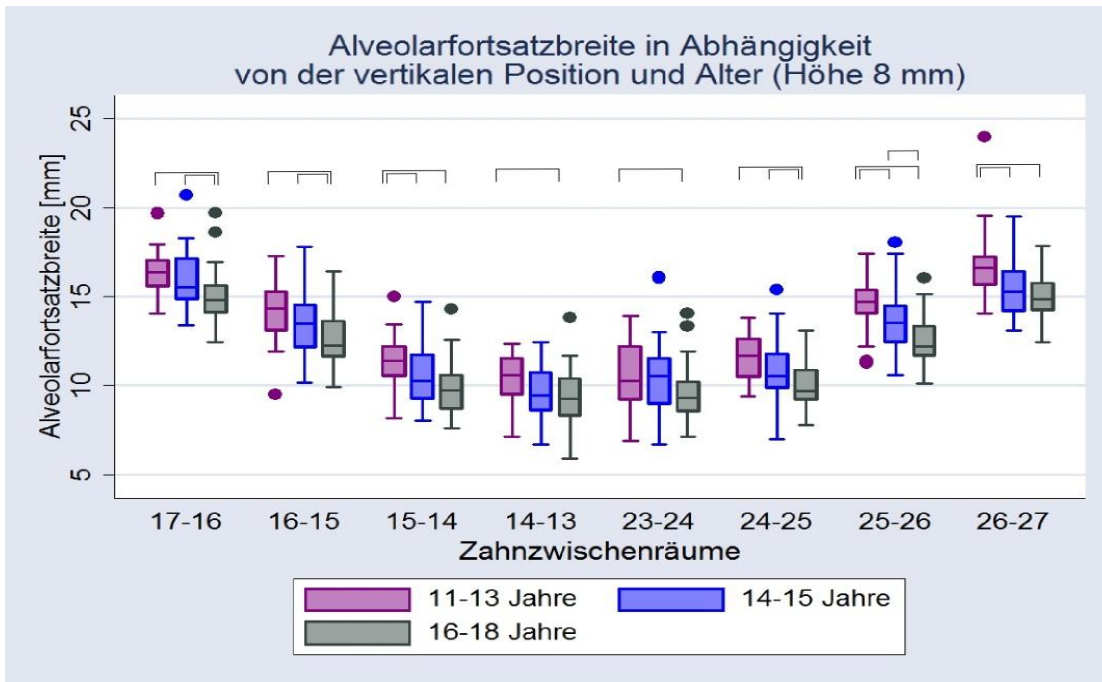


Abb. 57:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Alveolarfortsatzbreiten der Altersgruppen im Abstand von 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

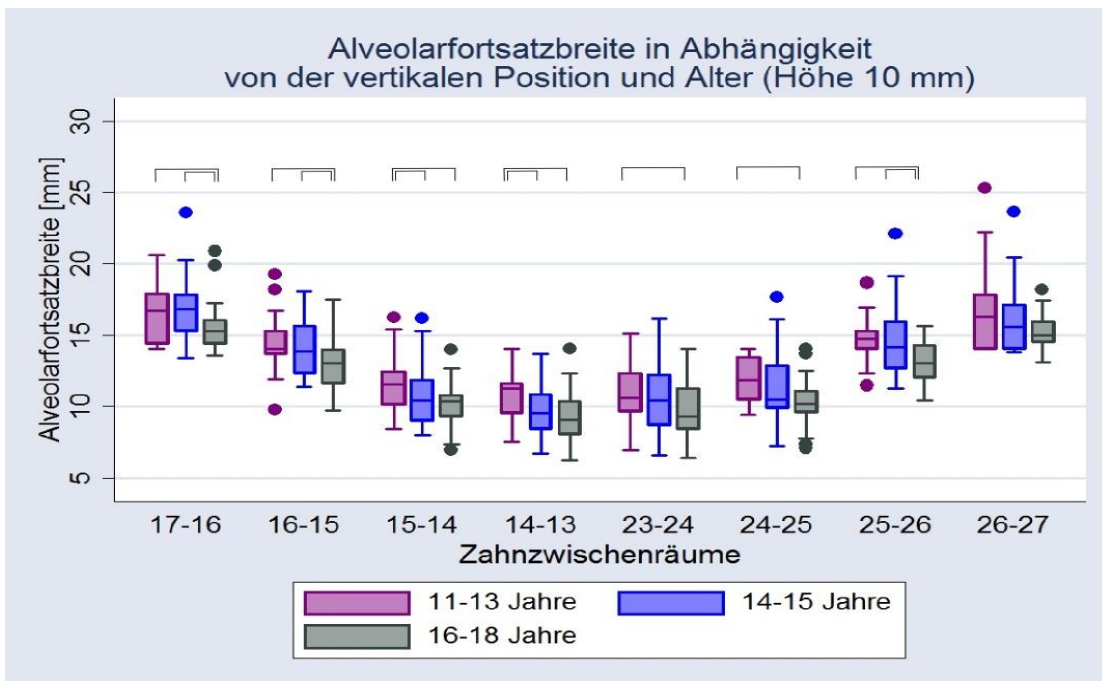


Abb. 58:

Box-Whisker-Plot Darstellung der Alveolarfortsatzbreiten der Altersgruppen im Abstand von 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze.

☐ = Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau

4.3.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Der Vergleich der Häufigkeiten von Mindestbreiten des Alveolarfortsatzes ≥ 6 mm in den drei Altersgruppen zeigte lediglich auf 2 mm Höhe an 14-13 einen signifikanten ($p < 0,05$) Unterschied, wobei die Altersgruppe 14-15 Jahre gegenüber den 16-18-Jährigen einen um 29 % höheren Prozentsatz aufwies.

Der Vergleich der Häufigkeiten von Mindestbreiten des Alveolarfortsatzes ≥ 8 mm in den drei Altersgruppen zeigte mit Unterschieden zwischen 35 % - 44 % bei den 11-13-Jährigen gegenüber den 16-18-Jährigen jeweils auf 2 mm Höhe von 15-14, 14-13, 23-24, 24-25 einen signifikant ($p < 0,05$) höheren Anteil. Zusätzlich zeigte die Altersklasse 14-15 Jahre mit einem Unterschied von 15 % einen signifikant ($p < 0,05$) höheren Prozentsatz auf 2 mm Höhe von 23-24 gegenüber den 16-18-Jährigen.

Auf den Höhen, wo aller Wahrscheinlichkeit nach befestigte Gingiva vorhanden ist (4-6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze), wurden für die gewählten Breiten ≥ 6 mm und ≥ 8 mm keine signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede festgestellt.

4.3.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

In der Altersgruppe 11-13 Jahre fand sich folgender signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied:

- Auf 6 mm Höhe war die Alveolarfortsatzbreite von 17-16 gegenüber 26-27 signifikant kleiner. Die maximale rechts-links-Differenz betrug im Median 0,67 mm.

In der Altersgruppe 14-15 Jahre fanden sich folgende signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

- Auf 6 mm, 8 mm und 10 mm Höhe war die Alveolarfortsatzbreite von 14-13 zu 23-24 signifikant kleiner. Die maximale rechts-links-Differenz betrug im Median 0,54 mm.

In der Altersgruppe 16-18 Jahre fanden sich keine signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede in der Alveolarfortsatzbreite.

Die Verteilung der Häufigkeiten zeigte keine signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede.

4.4. Perforation der Kieferhöhle

Die durchschnittliche vertikale Höhe des Alveolarfortsatzes von der approximalen Schmelz-Zement-Grenze bis zum Kieferhöhlenboden ist in Tabelle 3 angegeben. Die Messungen erfolgten an 102 Patienten interradikulär zwischen den Zähnen 17 und 16, 16 und 15, 25 und 26 sowie 26 und 27. Es stellt das knöcherne Angebot des Alveolarfortsatzes in kraniokaudaler Richtung dar.

Das durchschnittliche Knochenangebot betrug mehr als 10 mm und lag damit außerhalb des Bereichs der befestigten Gingiva.

Tab. 3: Mittelwert in mm und Standardabweichung (SD) des vertikalen knöchernen Angebots des Alveolarfortsatzes in kraniokaudaler Richtung, ausgehend von der Schmelz-Zement-Grenze.

Messstelle	17-16	± SD	16-15	± SD	25-26	± SD	26-27	± SD
Knöchernes Angebot	10,75	2,71	12,23	3,38	11,84	2,83	10,52	2,43

Eine Häufigkeitsverteilung der kaudalen Ausdehnung der Kieferhöhle im Bereich 4 mm bzw. 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze ist in den Tabellen 4 und 5 dargestellt. Sie lehnt sich an den Bereich der befestigten Gingiva an und zeigt den Prozentsatz des knöchernen Angebots von ≤ 4 mm bzw. ≤ 6 mm ausgehend von der Schmelz-Zement-Grenze.

Ein Knochenangebot von ≤ 6 mm war bei mindestens 97 % der untersuchten Personen gegeben.

Tab. 4: Prozentsatz des knöchernen Angebots in kraniokaudaler Richtung von ≤ 4 mm, ausgehend von der Schmelz-Zement-Grenze.

Messstelle	17-16		16-15		25-26		26-27	
Knöchernes Angebot	99		100		100		100	

Tab. 5: Prozentsatz des knöchernen Angebots in kraniokaudaler Richtung von ≤ 6 mm, ausgehend von der Schmelz-Zement-Grenze.

Messstelle	17-16		16-15		25-26		26-27	
Knöchernes Angebot	97		98		97		98	

4.5. Fehlerberechnung nach DAHLBERG

Die Berechnung des Methodenfehlers erbrachte die in Tab. 6 dargestellten Ergebnisse. Bei einem *relativen* Wert < 1 kann nach DAHLBERG (1940) von einer ausreichenden Messgenauigkeit ausgegangen werden.

Tab. 6: Ergebnisse der Fehlerberechnung nach DAHLBERG.

	Interradikulär	Kortikalis buccal	Kortikalis palatinal	Alveolarfortsatz	Kieferhöhle
Ergebnis nach DAHLBERG	0,31	0,16	0,15	0,24	0,25

5. Diskussion

Es liegen derzeit keine Studien vor, die den interradiikulären Abstand, die Dicke der Kortikalis, die Breite des Alveolarfortsatzes und die kaudale Ausdehnung der Kieferhöhle in einer Studie auf der Basis von mehr als 100 DVTs ausgewertet haben.

Die in der vorliegenden Studie verwendeten DVTs stammen von 102 Jugendlichen zwischen 11 und 18 Jahren (49 weiblich, 53 männlich, Mittelwert 14,6 Jahre). Die Selektion der DVTs erfolgte wie in Kapitel 3.1. beschrieben und stellt daher nur einen Auszug von Patienten dar. Wären zusätzlich Patienten mit Engständen, gekippt stehenden Zähnen oder Wurzelanomalien vermessen worden, würden die Ergebnisse von denen der vorliegenden Studie abweichen. Die dentale Volumentechnologie weist keine statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Abweichungen der Dimensionstreu auf (SHERRARD et al. 2010) mit exzellenter Qualität der dargestellten Hartgewebe (ARAI et al. 1999, CARRAFIELLO et al. 2010). SUOMALEINEN et al. (2008) erhielten für lineare Messstrecken relative Fehler von 2,3 % und 4,7 %. Dies entspricht einer möglichen Ungenauigkeit von 0,23 mm bzw. 0,47 mm auf einer Strecke von 10 mm. Geringfügig höhere Dimensionstreu gegenüber einem DVT erhielten LIANG et al. (2009) durch ein Multi-Slice-CT (MSCT). Die höheren Kosten und die erhöhte Strahlenexposition eines MSCT sind dabei abzuwägen (LOUBELE et al. 2008, GERMAN und GERMAN 2010). Ferner entspricht ein MSCT im Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereich nicht den Empfehlungen der aktuellen Literatur (LUDLOW und IVANOVIC 2008). Für die spezifische Auswertung an einem Desktop PC im Zusammenhang mit einem für die Befundung der Anwendungskategorie B zugelassenen Monitor, wurde das Programm SimPlant® (Master-Version 12.0, Fa. Materialise, Leuven, Belgium) verwendet. Die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Programms wurde in diversen Studien bestätigt (KIM et al. 2008, SHIOTA et al. 2009, DAMSTRA et al. 2010). Um Unterschiede in der Messmethodik zu vermeiden, erfolgten alle Messungen durch einen Untersucher. Als Referenzebene wurde die Schmelz-Zement-Grenze gewählt, da sie im Gegensatz zum crestalen Knochen unabhängig von Parodontitiden ist und nicht zuletzt klinisch reproduzierbarere Ergebnisse liefert. Befand sich die Schmelz-Zement-Grenze benachbarter Zähne nicht auf einer Höhe, wurde die Differenz bis zu einem maximalen Höhenunterschied von 1 mm halbiert und als Bezugsfläche definiert. Daher ist eine Varianz der Messebenen in koronoapikaler Richtung zur Schmelz-Zement-Grenze von 0,5 mm möglich. Zur Berechnung des Methodenfehlers wurden 10 DVTs in einem zeitlichen Abstand von 2 Monaten erneut vermessen und anhand der DAHLBERG-Formel überprüft. Nach DAHLBERG (1940)

beschreibt ein *relativer* Wert < 1 eine ausreichende Messgenauigkeit, in der vorliegenden Studie wurden für die unterschiedlichen Lokalisationen Werte zwischen 0,15 und 0,31 ermittelt. Es konnte daher eine gute Messgenauigkeit festgestellt werden. Der Wert der interradiikulären Fehlerberechnung fiel im Vergleich zu denen der Kortikalis, des Alveolarfortsatzes und der kaudalen Ausdehnung der Kieferhöhle etwas höher aus. Durch teils fehlende Darstellung des Parodontalspalts resultierte eine leichte Unschärfe und eine klare Abgrenzung zur Wurzeloberfläche war häufig nicht möglich (s. Abb. 8 und 9). Dies stellt im Vergleich zu beispielsweise einer histologischen Auswertung einen Nachteil dar. Jedoch liegt auch der Wert der interradiikulären Messungen unterhalb dem von DAHLBERG (1940) geforderten Wert und ist somit ausreichend präzise.

5.1. Interradiikuläres Knochenangebot

5.1.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

Das in der vorliegenden Studie ermittelte mesiodistale interradikuläre Knochenangebot reichte im Median von 1,56 mm auf 6 mm Höhe von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) zwischen den Zähnen 17 und 16 bis hin zu 3,86 mm auf 10 mm Höhe von der SZG zwischen den Zähnen 25 und 26. Der Abstand zwischen dem ersten Molaren und dem zweiten Prämolaren zeigte beidseits immer das größte Platzangebot. Dies ist konform mit aktueller Literatur (LEE et al. 2004, SCHNELLE et al. 2004, POGGIO et al. 2006, LIM et al. 2008, PARK et al. 2010).

Von RENJEN et al. (2009) wurde zwar von einem Tierversuch berichtet, in welchem nach Verletzung der Wurzelstruktur bei der Insertion von Verankerungspins eine reparative Heilung beobachtet wurde. Dennoch ist ein ausreichendes interradiikuläres Platzangebot bzw. eine rein intraossäre Platzierung des kieferorthopädischen Verankerungspins einer der wichtigsten Faktoren für eine klinisch erfolgreiche Insertion, da es sonst leicht zu einem frühzeitigen Verlust des Pins kommt (MÜLLER-HARTWICH et al. 2006). KURODA et al. (2007) beobachteten eine signifikant ($p < 0,05$) höhere Erfolgsquote bei Verankerungspins, die keinerlei Kontakt zur Wurzel und dem umgebenden Parodont aufwiesen. Bei dessen punktförmiger Perforation durch die Pinspitze oder Berührung der Wurzel, wurde eine signifikant geringere Erfolgsquote festgestellt. Daher ist es wichtig, die anatomischen Gegebenheiten zu kennen. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, dem Kliniker Anhaltspunkte für die Entscheidung eines geeigneten Insertionsortes in der radiologischen Prädiagnostik zu geben. Während KIM et al. (2010) bei 11 von 50 und KAU et al. (2010) bei 65,2 % der konventionell gesetzten Pins einen Kontakt zu

einer Wurzel nachweisen konnten, stellten LIU et al. (2010) mit schablonengeführter Technik ideale Positionierungsergebnisse fest, erachten diese aus Kostengründen jedoch für nicht praxistauglich. Bereits 2008 stellten PRÄGER et al. ein navigiertes Verfahren mittels Robodent vor, welches sich als zuverlässig erwies mit Abweichungen zwischen 0,2 mm -1,2 mm.

Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede waren in der vorliegenden Studie nahezu zwischen allen Interradikularräumen der analogen Höhen einer Seite zu finden. Die Tendenz zeigte im ersten Quadranten im Bereich der attached Gingiva den größten interradiikulären Abstand zwischen dem ersten Molaren und dem zweiten Prämolaren, gefolgt von den Zwischenräumen des ersten Prämolaren und des Caninus, anschließend der beiden Prämolaren. Das geringste Platzangebot war zwischen den beiden Molaren zu finden. Der zweite Quadrant wies eine ähnliche Tendenz auf, jedoch zeigten die beiden Prämolaren größere Werte gegenüber dem Zwischenraum des ersten Prämolaren und des Caninus.

Um eine Verletzung der Wurzeln und des Parodonts zu vermeiden, forderten SCHNELLE et al. (2004) einen Mindestabstand der Wurzeln von 3 mm. Der von SCHNELLE et al. (2004) geforderte Abstand konnte in dieser Studie anhand der Gesamtmessung im Median lediglich annäherungsweise beidseits zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren ab 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze in Richtung apikal (2,84 mm - 3,87 mm), im 10 mm Bereich distal des Caninus (beidseits 3,18 mm) und zwischen den beiden Prämolaren ab 8 mm links (2,94 mm - 3,06 mm) und ab 10 mm rechts (2,85 mm) gefunden werden (s. Abb. 13). Da auf dieser Höhe im Bereich des Caninus und zwischen den beiden Prämolaren bewegliche Mukosa zu finden ist (LIM et al. 2007), ist eine Insertion nicht ratsam, Schleimhautentzündungen einhergehend mit einer erhöhten Verlustrate der Pins wären die Folge (PARK et al. 2006). Eine für die horizontale Insertion geeignete Stelle im Bereich der befestigten Gingiva war daher lediglich zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren zu finden. Dies zeigt ein geringeres Platzangebot als es in der Literatur zu finden ist (ISHII et al. 2004, SCHNELLE et al. 2004, POGGIO et al. 2006, LEE et al. 2009). Eine Erklärung für die unterschiedlichen Messergebnisse kann in der Auswertung anhand von DVT- gegenüber MSCT-, Micro-CT- und OPTG- Aufnahmen gefunden werden, wobei das MSCT die höchste und das OPTG die geringste Dimensionstreuung aufweist. Eine weitere Erklärung liegt in der hohen Patientenzahl der vorliegenden Studie (102 Patienten) gegenüber vorangegangenen Studien (ISHII et al. (2004) verwendeten 5 Micro-CTs, SCHNELLE et al. (2004) 60 OPTGs, POGGIO et al. (2006) 25 DVTs, KIM et al. 2009 35 DVTs, LEE et al. (2009) 30 MSCTs und LIM et al. 2009 28 CTs). Für die Messung wurde der engste interradiikuläre Abstand gewählt und lässt somit Rückschlüsse auf bicortical verankerte Pins zu, die gegenüber monocorticalen Verankerungspins eine günstigere

Spannungsverteilung, höhere Stabilität und die Möglichkeit einer erweiterten Kraftapplikation boten (BRETTIN et al. 2008). Aufgrund der festgestellten interindividuellen Variabilität ist jedoch eine präoperative Evaluation der Platzverhältnisse unerlässlich. Zu diesem Schluss kamen auch MARTINELLI et al. (2010).

Alternativ zu einer horizontalen Insertion der Verankerungspins von vestibulär kommt eine schräge oder palatinale Insertion in Betracht. Durch eine apikal gerichtete Insertion kann der Kopf des Verankerungspins auf Höhe der befestigten Gingiva gebracht werden bei gleichzeitiger Nutzung des größer werdenden interradikulären Abstandes in apikaler Richtung sowie einer geringeren horizontalen Eindringtiefe (KIM et al. 2009). Die höchste Primärstabilität wurde von WILMES et al (2008) bei einem Insertionswinkel von 60° - 70° festgestellt. Zusätzlich wurde von PARK et al. (2010) eine nach distal gerichtete Inklination des Verankerungspins um 10° - 20° und eine um 0,5 mm - 2,7 mm nach distal des Approximalkontaktes verschobene Insertion vorgeschlagen, um die Gefahr eines Wurzelkontakts durch ein Verankerungspin zu verringern. CRISMANI et al. (2005) beschrieben eine Insertion palatinaler Verankerungsimplantate mit einer Länge von 4 mm und 6 mm mit einem Durchmesser von 3,3 mm. Diese wurden bei Erwachsenen in die sutura palatina und bei Jugendlichen paramedian inseriert mit einem angestrebten Sicherheitsabstand von 2 mm zum Nasenboden. Ein Vorteil besteht darin, dass die Spitze des Verankerungsimplantats apikal der Frontzähne endet und die Gefahr die Zahnwurzel zu verletzen minimiert wird.

5.1.1.1. Prozentuale Auswertung

Der Prozentsatz des Überschreitens von 3 mm interradikulärem Knochenangebot reicht von 5,0 % auf 6 mm Höhe von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) zwischen den Zähnen 17 und 16 bis hin zu 71,6 % auf 10 mm Höhe von der SZG zwischen den Zähnen 25 und 26. Der höchste Prozentsatz war immer beidseits zwischen dem ersten Molaren und dem zweiten Prämolaren zu finden, doch selbst hier ist im Bereich der attached Gingiva lediglich ein Prozentsatz zwischen 43,6 % und 48,5 % vorhanden. Bei horizontaler Insertion ist also nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie eine Insertion nur in weniger als der Hälfte der Patienten möglich.

SCHNELLE et al. (2004) führten ebenfalls eine prozentuale Auswertung durch. Diese beschrieb das Überschreiten von 3 mm interradikulärem Knochenangebot an beliebiger Stelle eines Interradikularraums von der Schmelz-Zement-Grenze bis zum Apex. Bezogen auf die gewählten Lokalisationen dieser Studie lagen die Ergebnisse von SCHNELLE et al. (2004)

zwischen 40 % und 96,7 %. Ein direkter Vergleich zu dieser Studie ist jedoch aufgrund des unterschiedlichen Vorgehens nicht möglich.

Das eingangs in der Hypothese angenommene Überschreiten von einem interradiikulärem Knochenangebot der Oberkiefer Seitenzähne von ≥ 3 mm bei 70 % der Patienten wurde nur in wenigen Positionen erreicht. Lediglich beidseits 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen dem ersten Molaren und dem zweiten Prämolaren wurden entsprechende Werte ermittelt (rechts 69,4%, links 71,6%). Jedoch ist in diesem Bereich befestigte Gingiva nicht zu erwarten (LIM et al. 2007).

5.1.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte

Der Vergleich des interradiikulären Knochenangebots der Seiten weist zwischen den Zähnen 17-16 versus 26-27 und zwischen 15-14 versus 24-25 statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede auf. Die linke Seite war bei den statistisch signifikanten Unterschieden stets größer. Mit einer maximalen Differenz im Median von 0,25 mm scheint dies zunächst klinisch wenig relevant. Jedoch zeigen inserierte Verankerungspins der linken Seite laut PARK et al. (2006) eine höhere Erfolgsquote. Dies könnte einerseits auf die bessere orale Pflege der linken Seite bei Rechtshändern, welche anteilig überwiegen, zurückgeführt werden (TEZEL et al. 2001), aber andererseits auch auf das geringfügig höhere Knochenangebot, wie in der vorliegenden Studie ermittelt.

KIM et al. (2009) verglichen Interradikularräume zwischen dem ersten Prämolaren und dem ersten Molaren beider Seiten. Sie stellten keine statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen rechter und linker Seite fest. Bezogen auf die gewählte Lokalisation ist dies konform mit der vorliegenden Studie.

5.1.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

In der hier vorliegenden Studie wurden weder bei dem metrischen noch bei dem prozentualen Vergleich des interradiikulären Platzangebotes statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt. Dies ist konform mit der aktuellen Literatur (KIM et al. 2009).

5.1.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Da es sich beim Vergleich der Altersgruppen um mehr als 2 Gruppen handelte, bestand die Notwendigkeit einer Varianzanalyse. Für 3 Gruppen, wie in dem Fall der vorliegenden Studie, wurde von BENDER et al. (2007) die Methode nach Bonferroni-Holm-Shaffer empfohlen, die das multiple Signifikanzniveau kontrolliert um falsch positive Ergebnisse zu vermeiden. Dazu werden zunächst alle 3 Gruppen einem Globaltest unterzogen zum Niveau α (z.B. Kruskal-Wallis-Test). Nur wenn signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den 3 Gruppen bestehen, kann paarweise wiederum zum Niveau α mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verglichen werden.

Im Allgemeinen zeigte der Vergleich der Altersgruppen wenig statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede des interradikulären Knochenangebots, lediglich auf 10 mm Höhe an den Zähnen 13-14 wurden in der Altersgruppe 16-18 Jahre größere Werte gemessen als bei den beiden jüngeren Altersgruppen, ebenso wies der Zahnzwischenraum bei 26-27 auf 2 mm Höhe signifikant ($p < 0,05$) größere Werte auf als bei den 14-15-Jährigen. Die klinisch besonders relevanten Gebiete der befestigten Gingiva zeigten keine statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Altersgruppen.

Die aktuelle Literatur beinhaltet derzeit keine Auswertung des interradikulären Knochenangebots unterteilt in Altersgruppen.

5.1.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Auch die Auswertung der Häufigkeiten wurde einem Globaltest unterzogen. Es wurden zunächst alle 3 Altersgruppen mit Fishers exaktem Test überprüft. Vielen dabei signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede auf, wurde wiederum mit Fishers exaktem Test paarweise verglichen.

Die Altersklassen zeigten statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede der Häufigkeit eines interradikulären Platzangebotes von ≥ 3 mm in den verschiedenen Altersgruppen. Eine einheitliche Tendenz konnte dabei jedoch nicht beobachtet werden mit einer maximalen Differenz von 14 % fielen die Unterschiede gering aus. Somit kann von einer Unabhängigkeit des Alters bezogen auf die prozentuale Verteilung des interradikulären Abstand im Alter von 11-18 Jahren ausgegangen werden.

Eine prozentuale Auswertung der Altersgruppen ist bislang in der Literatur nicht vertreten.

5.1.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

Ähnlich wie in Kapitel 5.1.2. beschrieben, fanden sich auch innerhalb der Altersklassen wenig signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede im Vergleich des interradikulären Platzangebotes der rechten und linken Oberkieferhälfte. Die Altersgruppe 14-15 Jahre zeigte dabei die größte Variabilität. Eine klare seitenabhängige Tendenz konnte dabei nicht festgestellt werden.

Ein Vergleich mit aktuellen Literaturstellen ist in diesem Fall nicht möglich, da eine Auswertung der rechten und linken Oberkieferhälfte unterteilt in Altersgruppen bislang nicht vertreten ist.

5.2. Dicke der Kortikalis

5.2.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

Die in dieser Studie ermittelte metrische Kortikalisstärke reicht im Median von 1,0 mm auf 4 mm Höhe von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen den Zähnen 17 und 16 bis hin zu 1,6 mm auf 2 mm Höhe von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen den Zähnen 14 und 13. Mit einer Ausnahme buccal zwischen 16 und 15 wies die 4 mm Höhe immer das geringste Knochenangebot auf. Die gleiche Beobachtung machten BAUMGAERTEL et al. (2009). Die 2 mm Höhe erscheint relativ hoch, da die Messung horizontal stattfand und im 2 mm Bereich der Limbus Alveolaris häufig in die kaudale Krümmung überging (s. Abb.7). Bei einer Messung, die im 90°-Winkel zur Knochenoberfläche stattfindet, würde die Kortikalisstärke im 2 mm Bereich geringer ausfallen als in dieser Studie ermittelt. Ebenso fallen die palatinalen Werte, mit Ausnahme der 2 mm Höhe, aufgrund der Wölbung des Gaumens bei einer 0° Messung zur Referenzebene meist etwas höher aus im Vergleich zu den buccalen. Je nach Krümmungsgrad des Gaumens war bei einer horizontalen Messung die gemessene Kortikalisstärke variabel bei klinisch gleicherbleibender Kortikalisdicke. Auch hier würde eine Messung, die im 90°-Winkel zur Knochenoberfläche stattfindet, geringer ausfallen.

MOTOYOSHI et al. (2008) stellten fest, dass die Dicke der Kortikalis direkt proportional zur Erfolgsrate des Verankerungspins ist und begründeten dies mit einer suffizienteren Spannungsverteilung im Alveolarknochen. Somit wurde der trabekuläre Knochen weniger stark belastet und eine durch Überbelastung induzierte periimplantäre Knochenresorption blieb aus. Bei einer Dicke der Kortikalis < 1 mm kam es vermehrt zu trabekulärer Knochenresorption, einhergehend mit signifikant ($p < 0,05$) erhöhten Verlusten des Verankerungspins. Daher wurde von MOTOYOSHI et al. (2008) eine Mindestdicke der Kortikalis von 1 mm vorgeschlagen.

Die geforderte Mindeststärke der Kortikalis von 1 mm war in der vorliegenden Studie im Median auf allen Höhen gegeben.

Mit Ausnahme des 4 mm Bereichs von 13-14, dessen Wert die 1 mm Grenze knapp unterschritt, erhielten BAUMGAERTEL und HANS (2009) ebenfalls Ergebnisse oberhalb einen Millimeters.

ONO et al. (2008) ermittelten zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren Werte zwischen 1,17 mm (2 mm in apikaler Richtung, als Referenzpunkt diente der Limbus alveolaris) und 1,27 mm (10 mm vom Limbus alveolaris). Diese Werte sind etwas geringer als in

der vorliegenden Studie, dennoch zeigten sie die von MOTOYOSHI et al. (2008) geforderte Mindeststärke von 1 mm. Während ein Großteil der Studien (LIM et al. 2007, LIM et al. 2008, ONO et al. 2008, BAUMGAERTEL und HANS 2009) Kortikalisstärken ≥ 1 mm fanden, stellten KIM et al. (2006) zwischen den beiden Molaren nur Werte zwischen 0,82 mm und 0,94 mm fest. Eine mögliche Erklärung der geringeren Werte liegt darin, dass KIM et al. (2006) dekalzifizierte Schnitte histologischer Präparate verwendeten. SOAL et al. (2010) berichten von einer 6-prozentigen Schrumpfung des Gewebes während der Erstellung von Gewebeproben bei der Verwendung einer modifizierten, mit hoher Dimensionstreue einhergehender Technik.

In apikaler Richtung nahm die Dicke der Kortikalis tendenziell zu. ONO et al. (2008) kamen ebenfalls zu diesem Ergebnis. Des Weiteren konnte eine Abnahme des kortikalen Knochenangebots in mesiodistaler Richtung beobachtet werden, mit einer leichten Erhöhung distal des zweiten Prämolaren. LIM et al. (2007) erhielten ähnliche Ergebnisse in 6 mm Entfernung vom Limbus alveolaris, etwas geringere Werte dagegen im anterioren 2 mm und 4 mm Bereich. Sein Patientengut von insgesamt 30 Personen wies jedoch ein höheres Durchschnittsalter von 27 Jahren auf, daher sind diese Daten nur bedingt vergleichbar.

Es bestanden zwischen nahezu allen Höhen einer Seite statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede. Diese betrafen sowohl die buccale, als auch die palatinale Kortikalis. Dabei fiel der Interradikularraum distal des Caninus durch sein hohes Knochenangebot und andererseits der Interradikularraum distal des ersten Molaren durch sein geringes Knochenangebot auf.

5.2.1.1. Prozentuale Auswertung

Der prozentuale Anteil der Patienten mit einer Kortikalisstärke von ≥ 1 mm lag buccal zwischen 52 % und 92 % sowie palatinal zwischen 58 % und 89 %. Ähnlich wie die metrischen Ergebnisse, zeigte auch die prozentuale Verteilung die Tendenz zu geringeren Werten in mesiodistaler Richtung mit einer Erhöhung distal des 2. Prämolaren.

ONO et al. (2008) bestimmten die Häufigkeit bei 39 Patienten mit einer buccalen Kortikalisstärke von > 1 mm. Im Bereich zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren lag die Häufigkeit bei 56 % 1 mm apikal des Limbus alveolaris bis hin zu 97 % bei 15 mm. Im Bereich der keratinisierten Mukosa erhielten sie Werte zwischen 64 % und 67 %, ähnliche Prozentangaben von 65 % - 69 % wurden in der hier vorliegenden Studie ermittelt. Größere Werte als in der vorliegenden Studie wurden dagegen in der Studie von ONO et al. (2008) zwischen den beiden Molaren ermittelt, beginnend mit 67 % in 1 mm Abstand vom Limbus alveolaris bis hin zu 100 % bei 11-15 mm vom Limbus alveolaris. Auf 4 mm und 6 mm

Höhe lag der Prozentsatz konstant bei 80 %. Diese Werte sind größer als in der eigenen Studie (52 % - 88 %). Ein möglicher Grund liegt in dem höheren Durchschnittsalter des Patientenkollektivs von ONO et al. (2008).

Die Auswertung der Häufigkeit einer Kortikalisstärke ≥ 1 mm sollte ermitteln, inwieweit die Erstellung eines DVTs vor einer Insertion ratsam ist. Bestünde in nahezu 100 % der Patienten eine ausreichende Kortikalisstärke, wäre die erhöhte Strahlenexposition eines DVTs gegenüber beispielsweise eines Einzelbildes zur Bestimmung lediglich des interradikulären Platzangebotes abzuwägen.

5.2.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte

Beginnend mit der Distalfläche des ersten Prämolaren bis zur Mesialfläche des ersten Molaren zeigte die buccale Kortikalis ab 4 mm von der SZG in apikaler Richtung auf diversen Messhöhen signifikante ($p < 0,05$) Seitenunterschiede, dabei lag das geringere Knochenangebot stets auf der linken Seite. Mit einer Maximaldifferenz von 0,13 mm ist die klinische Bedeutung jedoch begrenzt und es kann, wie in der Hypothese angenommen, von einer Seitengleichheit ausgegangen werden.

Die palatinale Kortikalis zeigt keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

Ein Vergleich mit aktuellen Literaturstellen ist in diesem Fall nicht möglich, da eine getrennte Auswertung der Seiten bislang nicht vertreten ist.

5.2.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Die weiblichen Patienten wiesen im Vergleich zu den männlichen häufiger statistisch signifikant ($p < 0,05$) größere Werte auf als umgekehrt, sowohl bei der metrischen als auch bei der prozentualen Auswertung. Eine mögliche Erklärung ist das höhere Durchschnittsalter der weiblichen Jugendlichen mit 14,77 Jahren, die ihr Wachstum zu diesem Zeitpunkt nahezu abgeschlossen haben, gegenüber 14,43 Jahren der männlichen, welche sich noch im Größenwachstum befinden (BRANDT und REINKEN 1988). Die Unterschiede sind jedoch gering, so dass die Relevanz der marginalen Unterschiede gering ist. Es kann daher von einer Unabhängigkeit des Geschlechts ausgegangen werden.

LIM et al. (2007) konnten keinen statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten feststellen.

ONO et al. (2008) beobachteten eine dickere Kortikalis bei männlichen Patienten auf den Höhen 1 mm, 2 mm und 5-9 mm vom Limbus alveolaris. Der Altersdurchschnitt ihrer Studie lag bei 24 Jahren, sodass ein direkter Vergleich zu der vorliegenden Studie nur bedingt möglich ist. Zusätzlich ist bislang nicht geklärt, ob Kortikalisstärken von Asiaten und Europäern vergleichbar sind, dieser Sachverhalt sollte in einer Studie untersucht werden.

5.2.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Mit wenigen Ausnahmen war in allen Altersgruppen auf allen Höhen im Median eine Mindestkortikalisstärke von 1 mm zu finden, die Ausnahmen fanden sich vorwiegend 4 mm von der Schmelz-Zement-Grenze. Die stärkste Kortikalis war in der Altersgruppe 16-18 Jahre zu finden, die 11-13- und 14-15-Jährigen wiesen keine klare Rangfolge auf, jedoch ist die Tendenz einer Zunahme des kortikalen Knochenangebots im Laufe des Alters zu erkennen. LEE et al. (2010) beobachteten einen linearen Anstieg der Überlebensrate von Verankerungspins im Laufe des Alters. Dies könnte auf den von MOTOYOSHI et al. (2008) festgestellten Zusammenhang zwischen der Kortikalisstärke und einem erfolgreichen Verbleiben des Pins in situ zurückgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit liegt in der höheren Knochendichte, die WANG et al. (2010) bei erwachsenen Hunden gegenüber jungen Hunden festgestellt haben.

ONO et al. (2008) verglichen zwei Altersgruppen: 14 Patienten zwischen 13- und 19 Jahren und 29 Patienten im Alter von 20- bis 48 Jahren. Sie stellten im Oberkiefer keinen signifikanten ($p < 0,05$) Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen fest. Eine mögliche Erklärung ist die breitere Altersverteilung und eine daraus resultierende Nivellierung der durchschnittlichen Messergebnisse. Die kleinen Altersspannen der vorliegenden Studie sind sehr spezifisch und daher sensibler für altersabhängige Unterschiede.

Die Anpassung des Signifikanzniveaus erfolgte wie unter Punkt 5.1.4. beschrieben.

5.2.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Der Prozentsatz der Patienten mit einer Kortikalisstärke ≥ 1 mm zeigte an nahezu jedem Interradikularraum statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Altersklassen. Die Altersklasse 16-18 Jahre wies mit wenigen Ausnahmen den höchsten Prozentsatz auf und blieb stets oberhalb von 70 %, die 11-13- und 14-15-jährigen Patienten zeigten keine einheitliche Rangfolge und verblieben häufig unter 70 %.

Auch hier erfolgte der Globaltest wie unter Punkt 5.1.4.1. beschrieben.

Ein Vergleich mit aktueller Literatur ist nicht möglich, da derzeit keine Studien mit einer prozentualen Auswertung der Kortikalis in Altersklassen unterteilt vorliegen.

5.2.4.2. Abhängigkeit von rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

In den Altersgruppen fanden sich lediglich buccal statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede der Messergebnisse. Dabei zeigte, mit einer Ausnahme in der Altersgruppe 14-15 Jahre auf 2 mm Höhe zwischen den beiden Molaren, stets die rechte Seite das größere Knochenangebot. Dies wurde bereits in der Gesamtmessung festgestellt. Alle Werte, die statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zeigten, lagen im Median oberhalb der von MOTOYOSHI et al. (2008) geforderten Kortikalisstärke von einem Millimeter.

Palatinal fanden sich in keiner der drei Altersklassen signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

Eine getrennte Auswertung der Seiten unterteilt in Altersklassen ist in der Literatur nicht vertreten.

5.3. Breite des Alveolarfortsatzes

5.3.1. Unterschiede zwischen den Interradikularräumen

Die Messergebnisse zeigten eine kontinuierliche Zunahme der Dicke des Alveolarfortsatzes von crestal nach apikal und von mesial nach distal. Diese Tendenz ist konform mit der aktuellen Literatur (POGGIO et al. 2006, ISHII et al. 2004). Der durchschnittliche minimale Wert befindet sich bei 2 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen dem Caninus und dem ersten Prämolaren mit 7,0 mm und der größte Wert mit 16,3 mm bei 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze zwischen dem ersten und zweiten Molaren. Zwischen allen Messwerten der verschiedenen Höhen einer Oberkieferhälfte bestanden signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

ISHII et al. (2004) führten Messungen an 5 Schädeln zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren durch und erhielten Werte zwischen 6,4 mm im 2 mm Bereich und 17,6 mm auf 8 mm Höhe. Ähnlich große Unterschiede ergab die vorliegende Studie mit einem minimalen Wert von 5,2 mm auf 2 mm Höhe und einem maximalen Wert von 17,3 mm auf 8 mm Höhe zwischen Zahn 16 und 15.

CHATZIGIANNI et al. (2010) inserierten Verankerungspins mit Längen von 7 mm und 9 mm. Bei Kraftapplikationen ≥ 1 N zeigten die 7 mm Pins eine signifikante ($p < 0,05$) Auslenkung gegenüber jenen mit 9 mm Länge. Da längere Pins stabilere Retention boten, sollte je nach verfügbarem Knochenangebot ein möglichst langer Verankerungspin gewählt werden und bedarf daher klinisch einer individuellen Vermessung.

5.3.1.1. Prozentuale Auswertung

Die prozentualen Auswertungen beinhalten den Anteil der Patienten, die eine Alveolarfortsatzbreite von ≥ 6 mm bzw. ≥ 8 mm aufweisen.

Eine Alveolarfortsatzbreite von ≥ 6 mm ist nahezu auf allen Höhen bei 100% der untersuchten DVTs vorhanden. Ein Unterschreiten von 97 % ist lediglich auf 2 mm Höhe bei Zahn 14-13, 23-24 und 24-25 zu finden. Diese Bereiche sind nach LIM et al. (2007) jedoch nicht von befestigter Gingiva bedeckt.

Ähnlich verhält es sich bei der Häufigkeit von 8 mm Alveolarfortsatzbreite. Lediglich beidseits zwischen dem ersten Prämolaren und dem Caninus liegt der Prozentsatz im Bereich der attached Gingiva unterhalb von 97 %.

Bezogen allein auf die Alveolarfortsatzbreite kann von einer sicheren Insertion von Verankerungspins mit einer Länge von 6 mm oder 8 mm ausgegangen werden. Um eine Perforation der gegenüberliegenden Kortikalis auszuschließen, ist dennoch eine individuelle Evaluation der Alveolarfortsatzbreite notwendig.

Ein Vergleich mit aktueller Literatur ist nicht möglich, da derzeit keine Studien mit einer prozentualen Auswertung der Breite des Alveolarfortsatzes vorliegen.

5.3.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte

Der Vergleich der Seiten ergab zwischen der Distalfläche des Caninus und der Mesialfläche des ersten Molaren statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede. Die linke Seite wies stets die größeren Werte auf. Mit einer maximalen rechts-links-Differenz im Bereich der befestigten Gingiva von 0,38 mm im Median ist die Relevanz jedoch begrenzt und es kann von einer Seitengleichheit ausgegangen werden.

Der prozentuale Vergleich der Seiten mit einer Alveolarfortsatzbreite von ≥ 6 mm und ≥ 8 mm zeigte keinerlei statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede.

Die aktuelle Literatur beinhaltet bislang keine Studien mit einem Seitenvergleich der Breite des Alveolarfortsatzes.

5.3.3. Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Der metrische Vergleich der Geschlechter zeigte nahezu ausnahmslos ein größeres Knochenangebot der männlichen Patienten.

Der prozentuale Vergleich ergab bei der Auswertung eines Knochenangebots von ≥ 6 mm keine statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede. Der Grund liegt darin, dass die Häufigkeit ≥ 6 mm Alveolarfortsatzbreite sowohl bei den männlichen, als auch bei den weiblichen Patienten in nahezu allen vermessenen DVTs 100 % betrug.

Der Häufigkeitsvergleich von ≥ 8 mm dagegen zeigte bereits statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede. Diese befanden sich hauptsächlich zwischen dem Caninus und dem ersten Prämolaren. Die männlichen Patienten wiesen ausnahmslos den höheren Prozentsatz auf mit Unterschieden zu den weiblichen Patienten zwischen 36 % und 83 %.

Die Breite des Alveolarfortsatzes zwischen den Geschlechtern wurde bislang in keiner Studie ermittelt.

5.3.4. Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Die metrischen Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen zwischen den Altersgruppen statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede auf. Überraschender Weise zeigt sich eine Abnahme der Breite des Alveolarfortsatzes im Laufe des Alters. Nur sehr wenige Werte der 14-15-Jährigen überstiegen die Werte der Altersklasse 11-13 Jahre, die 16-18-Jährigen wiesen immer den kleinsten Wert auf.

Eine mögliche Erklärung liegt im Durchbruch der bleibenden Dentition und des dadurch erhöhten Platzbedarfs. Diese findet bei männlichen Patienten zwischen 6,3 und 12,6 Jahren statt, bei weiblichen etwas früher (WEDL et al. 2004). Als weitere Möglichkeit kommen die ausladenden Milchmolarenwurzeln im Vergleich zu den schmaleren Prämolarenwurzeln in Betracht. Eine anschließende Verschmälerung des Alveolarknochens wäre denkbar. Da in der vorliegenden Studie lediglich Patienten mit vollständig durchgebrochener zweiter Dentition ausgewertet wurden, müsste die Verschmälerung über Jahre post eruptionem stattfinden. Dieser Sachverhalt sollte in einer separaten Studie geklärt werden. Die Unterschiede im Median liegen zwischen 0,8 mm auf 8 mm Höhe von Zahn 14-15 und 2,4 mm auf 6 mm Höhe von Zahn 25-26. Daher ist diese Feststellung besonders für bicortical verankerte Pins von Bedeutung. Aufgrund der Variabilität zwischen den Patienten bedarf es jedoch einer individuellen Diagnostik.

Die Anpassung des Signifikanzniveaus erfolgte wie in Kapitel 5.1.4. beschrieben.

Auch in diesem Fall ist ein Vergleich mit aktueller Literatur nicht möglich, da derzeit keine Studien mit einer Auswertung der Breite des Alveolarfortsatzes aufgeteilt in Altersgruppen vorliegen.

5.3.4.1. Prozentuale Auswertung der Altersgruppen

Die prozentuale Auswertung der Mindestbreiten des Alveolarfortsatzes von ≥ 6 mm bzw. ≥ 8 mm zeigt lediglich auf 2 mm Höhe diverser Interradikularräume signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede. Diese liegen nicht im Bereich der attached Gingiva und haben somit nur eine untergeordnete Bedeutung. Auch hier zeigt die Altersgruppe 11-13 Jahre stets den höchsten und die Altersgruppe 16-18 Jahre in jedem Fall den geringsten Prozentsatz.

Der Globaltest für diese Auswertung fand wie unter Punkt 5.1.4.1. beschrieben statt.

Die Häufigkeit der Breite des Alveolarfortsatzes aufgeteilt in Altersgruppen wurde bislang in keiner weiteren Studie ermittelt.

5.3.4.2. Unterschiede zwischen rechter und linker Oberkieferhälfte innerhalb der Altersgruppen

In den Altersgruppen 11-13 und 14-15 Jahre waren signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Seiten zu finden, dabei wies die linke Seite stets das größere Knochenangebot auf. Die Unterschiede sind jedoch gering, sodass von einer Seitengleichheit ausgegangen werden kann.

Die aktuelle Literatur weist derzeit keine Studien mit einer Auswertung der Breite des Alveolarfortsatzes aufgeteilt in Altersgruppen im Seitenvergleich auf.

5.4. Perforation der Kieferhöhle

Es wurde das vertikale Knochenangebot von der approximalen Schmelz-Zement-Grenze bis zum Erreichen der Kieferhöhle zwischen dem ersten und zweiten Molaren sowie zwischen dem ersten Molaren und zweiten Prämolaren ermittelt. Der Mittelwert überschritt in allen Altersgruppen 10 mm an vertikalem Knochenangebot. ISHII et al. (2004) ermittelten zwar nicht explizit das knöcherne Angebot, jedoch wurde 10 mm von der Schmelz-Zement-Grenze bei 3 ihrer 5 Schädelvermessungen die Kieferhöhle erreicht. Die Ergebnisse sind nicht direkt vergleichbar, da es sich in dieser Studie um Durchschnittswerte handelt, während ISHII et al. (2004) die Ergebnisse einzeln aufführen, ohne Durchschnittswerte zu nennen.

KIM et al. (2010) beobachteten, dass trotz geplanter horizontaler Insertion der Verankerungspins dies klinisch selten erreicht wird. Die linke Patientenseite zeigte in ihrer Studie einen vertikalen Winkel des Pins von durchschnittlich $24,5^\circ$ zur Horizontalen, wobei 3 von 50 getesteten Pins Sinusperforationen zeigten. Auch eine endoskopische Untersuchung beschrieb in allen 4 Patientenbeispielen eine Perforation des Sinus maxillaris der im 45° -Winkel inserierten Verankerungspins (GRACCO et al. 2010).

Die prozentuale Auswertung der kaudalen Ausdehnung der Kieferhöhle erfolgte in Anlehnung an die klinisch relevante Höhe von 4 mm und 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze, jener Bereich, in dem befestigte Gingiva zu erwarten ist (LIM et al. 2007). Auf 4 mm Höhe wurde in maximal 1 % bzw. auf 6 mm Höhe in maximal 3 % der ausgewerteten DVTs die Kieferhöhle erreicht.

Weiterführend könnten anhand einer ähnlich hohen Patientenzahl Untersuchungen zur angulierten Insertion von kieferorthopädischen Verankerungspins durchgeführt werden. Der Vorteil der angulierten Technik besteht darin, dass der Kopf des Verankerungspins im Bereich der befestigten Gingiva verbleibt, während die Pinspitze in dem nach apikal größer werdenden interradikulären Abstand inseriert wird sowie in der geringeren horizontalen Eindringtiefe. Zusätzlich ist der Kontakt des Verankerungspins zur Kortikalis erhöht. Daher sollten in einer weiteren Studie unterschiedliche Winkel und die erhöhte Kontaktfläche zur Kortikalis in Betracht gezogen werden. In diesem Zusammenhang ist eine Evaluation der kaudalen bzw. lateralen Ausdehnung der Kieferhöhle von großer Bedeutung, da sich durch die Angulation wiederum deren Perforation als mögliche Komplikation ergibt.

6. Schlussfolgerung

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie sind die Lokalisationen zur Insertion von Verankerungspins im Oberkiefer im Median stark limitiert. Lediglich beidseits zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren wurde im Bereich der befestigten Gingiva (4 mm - 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze) ein knapp ausreichendes interradikuläres Knochenangebot von $\geq 2,9$ mm festgestellt. Ein Überschreiten des Interradikularabstandes von 3 mm konnte in weniger als 50 % der Patienten festgestellt werden. Mit Ausnahme des Interradikularraums der beiden Molaren konnte eine Zunahme des Knochenangebots in koronoapikaler Richtung ermittelt werden. In der vorliegenden Studie wurden keine klinisch relevanten Unterschiede der Seiten, der Geschlechter oder des Alters zwischen 11 und 18 Jahren ermittelt. Eine Insertion nach Gesichtspunkten des Interradikularabstandes sollte daher zwischen dem zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren soweit apikal wie möglich erfolgen.

Die Kortikalisstärke zeigte in der vorliegenden Studie im Median sowohl buccal als auch palatinal stets ein Knochenangebot ≥ 1 mm. Tendenziell wurde eine Zunahme des kortikalen Knochenangebots in distomesialer und in koronoapikaler Richtung ermittelt, die 4 mm Höhe wies jedoch das geringste Knochenangebot auf. Diese Tendenz zeigte auch die prozentuale Auswertung mit einer Kortikalisstärke von ≥ 1 mm, die Werte lagen zwischen 52 % und 92 %. Es wurden keine klinisch relevanten Unterschiede zwischen den Seiten, den Geschlechtern oder dem Alter zwischen 11 und 15 Jahren ermittelt. Die 16-18-Jährigen wiesen das größte Knochenangebot auf. Eine Insertion nach Gesichtspunkten der Kortikalis sollte daher so weit mesioapikal und so spät wie möglich erfolgen.

Im Bereich der befestigten Gingiva zeigte die buccolinguale Breite des Alveolarfortsatzes zwischen den Seitenzähnen des Oberkiefers in mehr als 97 % der Patienten ein Knochenangebot ≥ 8 mm, lediglich distal des Caninus wurde dieser Wert unterschritten. Es konnten keine klinisch relevanten Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite festgestellt werden; die männlichen Patienten wiesen einen breiteren Alveolarfortsatz auf als die weiblichen. Innerhalb des untersuchten Altersspektrums wurde im Laufe des Alters eine Abnahme der Breite des Alveolarfortsatzes ermittelt mit einer im Median maximalen Differenz von 2,4 mm. Der Aspekt der Verschmälerung des Alveolarknochens sollte bei einer Insertion vor allem bicortical verankerter Pins Berücksichtigung finden.

Bei horizontaler Pininsertion ist eine Perforation der Kieferhöhle unwahrscheinlich. Selbst 6 mm von der Schmelz-Zement-Grenze wurde ein ausreichendes Knochenangebot in mindestens 97 % der gemessenen Patienten erfasst.

Zusammenfassend konnte nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie als ideale Lokalisation für die Insertion von kieferorthopädischen Verankerungspins der Interradikularraum distal des zweiten Prämolaren an der am weitesten apikal gelegenen Lokalisation der befestigten Gingiva festgestellt werden. Eine angulierte Insertion mit einem Verankerungspin mit 1,2 mm Durchmesser scheint vorteilhaft, um den in apikaler Richtung größer werdenden interradiikulären Abstand zu nutzen. Die genannten Ergebnisse sind die Auswertung eines begrenzten Patientenguts und sollen dem Kliniker Anhaltspunkte bei der Entscheidung eines geeigneten Insertionsortes geben. Konkret für den klinischen Alltag ist jedoch die festgestellte große interindividuelle Variabilität ausschlaggebend, eine präoperative Diagnostik ist daher unerlässlich. Aufgrund der vielen Faktoren, die eine erfolgreiche Insertion von kieferorthopädischen Verankerungspins beeinflussen, ist die Erstellung eines DVTs von großem Nutzen. Der Vorteil gegenüber einem zweidimensionalen Röntgenbild liegt in der dreidimensionalen Darstellung der Gewebe, eine Evaluation im Vorfeld beispielsweise der Kortikalisstärke ist nur so möglich.

7. Zusammenfassungen

7.1. Zusammenfassung

Maximale Verankerung stellt in der Kieferorthopädie nach wie vor ein Problem dar. Seit Einführung interradi­kulär platzierter Verankerungspins besteht eine zusätzliche stabile Retention für die Behandlung von Malokklusionen. Ziel dieser Studie war es, die Platzverhältnisse des Oberkiefers anhand einer repräsentativ hohen Patientenzahl zu ermitteln.

Für die Datenerhebung dienten 102 DVTs eines iCAT® Classic. Das Patientenalter lag zwischen 11-18 Jahren mit einem Altersdurchschnitt von 14,6 Jahren und wurde in drei Altersklassen aufgeteilt (11-13, 14-15 und 16-18 Jahre). Ausschlusskriterien waren Patienten mit nicht vollständig durchgebrochener zweiter Dentition, Vorliegen eines Syndroms, LKG-Spalten, Zahnfehlstellungen sowie Entzündungen der peridentalen Strukturen. Die DICOM-Daten wurden mit dem Programm SimPlant® Master ausgewertet. Es wurden von der Distalfläche des Caninus bis zur Mesialfläche des zweiten Molaren das interradi­kuläre Platzangebot, die buccale und palatinale Kortikalisstärke und die Alveolarfortsatzbreite ermittelt und anhand des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Tests statistisch ausgewertet. Die Messungen erfolgten horizontal in 2 mm Schritten von der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) bis hin zu 10 mm in apikaler Richtung. Die vertikale Höhe des Alveolarfortsatzes zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem Kieferhöhlenboden fand jeweils interradi­kulär zwischen dem 2. Prämolaren bis zum 2. Molaren statt, es kam ebenfalls der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test zur Anwendung. Die statistische Auswertung der Seiten erfolgte anhand des McNemar-Tests, jene der Geschlechter mittels des Mann-Whitney-U Tests (metrisch) und des exakten Tests nach Fisher (Häufigkeiten). Der statistischen Auswertung der Altersklassen wurde ein Globaltest (metrisch: Kruskal-Wallis-Test; der Häufigkeiten: Fishers exakter Test) vorgeschaltet und anschließend mittels des Mann-Whitney U Tests (metrisch) bzw. Fishers exaktem Test (der Häufigkeiten) paarweise berechnet. Der Methodenfehler wurde anhand von 10 erneut vermessenen DTVs mit der DAHLBERG-Formel bestimmt und lag mit einem relativen Wert von maximal 0,31 unterhalb des Maximalwerts von 1,0 und wies somit eine gute Messgenauigkeit auf.

Das für eine erfolgreiche Insertion geforderte interradi­kuläre Platzangebot von 3 mm war im Bereich der befestigten Gingiva (4 mm bis 6 mm von der SZG) lediglich annäherungsweise zwischen dem ersten Molaren und dem zweiten Prämolaren ab 4 mm von der SZG gegeben und

bei weniger als 50% der Patienten überhaupt vorhanden. Die Messungen waren nahezu geschlechts-, seiten- und altersunabhängig.

An allen Messpunkten betrug die Kortikalisdicke im Median mindestens 1 mm, wobei die 4 mm Höhe das geringste Knochenangebot aufwies. Die Dicke der Kortikalis nahm in distomesialer und koronoapikaler Richtung zu. Die 16-18-Jährigen wiesen die stärkste Kortikalis auf.

Der Alveolarfortsatz zeigte eine Breitenzunahme von coronal nach apikal und von mesial nach distal. Mit wenigen Ausnahmen war im Bereich der befestigten Gingiva (4 mm bis 6 mm von der SZG) die Alveolarfortsatzbreite an allen Messstellen mindestens 8 mm. Im Laufe des Alters zwischen 11-18 Jahren konnte eine signifikante ($p < 0,05$) Abnahme der Alveolarfortsatzbreite beobachtet werden.

Das vertikale Knochenangebot zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem Kieferhöhlenboden betrug durchschnittlich > 10 mm. Die Kieferhöhle wurde auf 4 mm Höhe in maximal 1 % bzw. auf 6 mm Höhe in maximal 3 % der ausgewerteten DVTs erreicht.

Für den Kliniker ist jedoch die ermittelte große Variabilität zwischen den Patienten ausschlaggebend, eine präoperative bildgebende Diagnostik, vorzugsweise mittels eines DVTs, ist daher unerlässlich.

7.2. Summary

Maximum retention is still one of the greatest issues in orthodontics. Since the introduction of interradicular inserted miniscrews, another stable retention for the treatment of malocclusions was found. The aim of this study was to present the field conditions in the maxilla on a representative amount of patients.

The ascertainment of data was based on records of 102 CBCTs of an iCAT® Classic. The patients' age were between 11-18 years with an average of 14.6 years and were divided into three groups (11-13, 14-15 and 16-18 years). Excluded were images with a not fully erupted permanent denture, syndroms and other anomalies, patients with periodontal diseases or tipped teeth and root resorptions. The DICOM data was evaluated with the program SimPlant® Master (V. 12.0, Materialise, Leuven, Belgium). Beginning from the distal side of the canine to the mesial surface of the second molar, the interradicular distance, the thickness of the buccal and palatal cortical bone and the width of the alveolar crest were detected and statistically evaluated using the Wilcoxon-signed-rank-test. Measurements were made horizontally in 2 mm steps, starting from the cemento-enamel-junction (CEJ) up to 10 mm in apical direction. The vertical

height of the alveolar bone between the cement-enamel-junction and the maxillary sinus floor was assessed interradicular between the 2. premolar and the 2. molar, also using the Wilcoxon-signed-rank-test. The statistical analysis of the sides was performed using the McNemar.test, the ones of the sexes with the Mann-Whitney-U-test (metrical) and Fishers exact test (percentage). To determine the statistical distribution of the ages, first a global test (metrical: Kuskal-Wallis-test, percentage: Fishers exact test) was run, followed by the Mann-Whitney-U-test (metrical) or Fishers exact test respectively. The method error was calculated using the DAHLBERG-formula and was, with a maximum of 0.31, below the maximum of 1.0 and therefore showed a good reproductivity.

Within the range of the attached gingiva (4 mm - 6 mm from the CEJ), the demanded interradicular distance of at least 3 mm could only approximately be found between the first molar and the second premolar starting at 4 mm from the CEJ. It was seldom given at 50% of the patients and mostly not gender, side or age specific.

The median showed the needed cortical bone thickness of 1 mm was given at all levels with a minimum at 4 mm from the CEJ and expanded in apical and mesial direction. The thickest cortical bone was found at the 16-18 year old patients.

The alveolar crest widened from coronal to apical and from mesial to distal. With few exceptions, in the limitations of the attached gingiva, the thickness of the alveolar crest exceeded 8 mm in 100%. In process of time between the age of 11-18, a significant ($p < 0.05$) reduction of the width of the alveolar crest was observed.

The vertical bone available between the cemento-enamel-junction and the maxillary sinus floor was at an average ≥ 10 mm. The sinus was reached at the 4 mm level in 1 %, at the 6 mm level in 3 %.

The detected great variability between patients is the most crucial factor for clinicians. A preoperative imaging method, preferably using a DVT, is necessary.

8. Literaturverzeichnis

Baumgaertel S. Predrilling of the implant site: Is it necessary for orthodontic mini-implants? *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:825-9.

Baumgaertel S, Hans MG. Buccal cortical bone thickness for mini-implant placement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009;136:230-5.

Baxmann M, McDonald F, Bourauel C, Jäger A. Expectations, acceptance, and preferences regarding microimplant treatment in orthodontic patients: A randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;138:250-1.

Bender R, Lange S, Ziegler A. Multiples Testen. *Dtsch Med Wochenschr* 2007;132:26-9.

Brand I, Reinken L: Diagramme: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen. *Klin. pädiat* 1988;200:451-6.

Brettin BT, Grosland NM, Qian F, Southard KA, Stuntz TD, Morgan TA et al. Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2008;134:625-35.

Carrafiello G, Dizonno M, Colli V, Strocchi S, Pozzi Taubert S, Leonardi A et al. Comparative study of jaws with multislice computed tomography and cone-beam computed tomography. *Radiol Med.* 2010;115:600-11.

Chatzigianni A, Keilig L, Reimann S, Eliades T, Bourauel C. Effect of mini-implant length and diameter on primary stability under loading with two force levels. *Eur J Orthod.* 2010;doi:10.1093/ejo/cjq088 [Epub ahead of print].

Chen Y, Lee JW, Cho WH, Kyung HM. Potential of self-drilling orthodontic microimplants under immediate loading. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:496-502.

Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ, Kok SH. A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19:100-6.

Chun YS, Lim WH. Bone density at interradicular sites: implications for orthodontic mini-implant placement. *Orthod Craniofac Res* 2009;12:25-32.

Chung KR, Kim SH, Choo HR, Kook YA, Cope JB. Distalization of the mandibular dentition with mini-implants to correct a Class III malocclusion with a midline deviation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:135-46.

Costa A, Raffainl M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. 1998;13:201-9.

Crismani AG, Bernhart T, Bantleon HP, Cope JB. Palatal implants: the Strauman Orthosystem. *Sem Orthod* 2005;11:16-23.

Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. Interscience Publications. New York, 1940.

Damstra J, Fourie Z, Huddleston Slater JJR, Ren Y. Accuracy of linear measurements from cone-beam computed tomography-derived surface models of different voxel sizes. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:16e1-e6.

El-Zanaty HM, El-Beialy AR, El-Ezz AM, Attia KH, El-Bialy AR, Mostafa YA. Three-dimensional dental measurements: An alternative to plaster models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:259-65.

Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical cone-beam algorithm. *J Opt Soc Am A* 1984;1: 612–9.

German D, German J. Cone-Beam Volumetric Imaging: A two-minute drill. *J Clin Orthod* 2010;44:253-65.

Glasl B, Ludwig B, Kinzinger G, Wilmes B, Lisson J. Molarendistalisation mit skelettal getragenen Non-Compliance-Geräten unter Einsatz von Miniimplantaten. *Kieferorthop* 2009;23:7-17.

Göllner P, Jung BA, Kunkel M, Liechti T, Wehrbein H. Immediate vs. conventional loading of palatal implants in humans. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:833-7.

Gracco A, Tracey S, Baciliero U. Miniscrew insertion and the maxillary sinus: an endoscopic evaluation. *J Clin Orthod* 2010;44:439-43.

Hyun JM, Kim TW. Correction of mutilated dentition with mini-implants as anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;138:656-65.

Ishii T, Nojlma K, Nishii Y, Takaki T, Yamaguchi H. Evaluation of the implantation posterior of mini-screws for orthodontic treatment in the maxillary molar area by micro CT. *Bull Tokyo dent Coll* 2004;45:165-72.

Johnson JC, Bullock GA. Indirect fabrication of a transpalatal arch supported by a temporary anchorage device. *J Clin Orthod* 2010;44:266-8.

Jung BA, Yildizhan F, Wehrbein H. Bone-to-implant contact of orthodontic implants in humans – a histomorphometric investigation. *Eur J Orthod* 2008;30:552-7.

Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997;31:763-7.

Kau CH, English JD, Muller-Delgado MG, Hamid H, Ellis RK, Winkleman S. Retrospective cone-beam computed tomography evaluation of temporary anchorage devices. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:166e1-e5.

Kim JW, Park JY, Baek SH, Kim TW, Chang YI. Forced eruption of an impacted third molar using a bracket-head miniscrew. *J Clin Orthod* 2010;44:313-8.

Kim SH, Kang JM, Choi B, Nelson G. Clinical application of a stereolithographic surgical guide for simple positioning of orthodontic mini-implants. *World J Orthod.* 2008;4:371-82.

Kim SH, Kang SM, Choi YS, Kook YA, Chung KR, Huang JC. Cone-beam computed tomography evaluation of mini-implants after placement: Is root proximity a major risk factor for failure? *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;138:264-76.

Kim SH, Yoon HG, Choi YS, Hwang EH, Kook YA, Nelson G. Evaluation of interdental space of the maxillary posterior area for orthodontic mini-implants with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009;135:635-41.

Kim HJ, Yun HS, Park HD, Kim DH, Park YC. Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2006;130:177-82.

Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2007;131:68-73.

Lascala CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 Sep;33:291-4.

Lee JS, Park HS, Kyung HM. Micro-implant anchorage for lingual treatment of a skeletal class II malocclusion. *J Clin Orthod* 2001;35:643-7.

Lee KJ, Joo E, Kim KD, Lee JS, Park YC. Computed tomographic analysis of tooth-bearing alveolar bone for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009;135:486-94.

Lee NK, Baek SH. Effects of the diameter and shape of orthodontic mini-implants on microdamage to the cortical bone. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;138:8e1-e8.

Lee SJ, Ahn SJ, Lee JW, Kim SH, Kim TW. Survival analysis of orthodontic mini-implants. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:194-9.

Leung CC, Palomo L, Griffith R, Hans MG. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:109-19.

Leung MTC, Lee TCK, Rabie ABM, Wong RWK. Use of miniscrews and miniplates in orthodontics. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:1461-6.

Li XJ, Jee WS. Adaptation of diaphyseal structure to aging and decreased mechanical loading in the adult rat: a densitometric and histomorphometric study. *Anat Rec* 1991 Mar;229:291-7.

Lietz T, Müller-Hartwich R. Zahnerhaltung durch kieferorthopädische Maßnahmen. *ZWR* 2006;115:91-103.

Liang X, Lambrichts I, Sun Y, Denis K, Hassan B, Li L et al. A comparative evaluation of cone beam computed tomography (CBCT) and multi-slice CT (MSCT), part II: On 3D model accuracy. *Eur J Radiol* 2010;75:270-4.

Lim JE, Lee SJ, Kim YJ, Lim WH, Chun YS. Comparison of cortical bone thickness and root proximity at maxillary and mandibular interradicular sites for orthodontic mini-implant placement. *Orthod Craniofac Res* 2009;12:299-304.

Lim WH, Lee SK, Wikesjö UM, Chun YS. A descriptive tissue evaluation at maxillary interradicular sites: Implications for orthodontic mini-implant placement. *Clin Anat* 2007;20:760-5.

Lim JE, Lim WH, Chun YS. Quantitative evaluation of cortical bone thickness and root proximity at maxillary interradicular sites for orthodontic mini-implant placement. *Clin Anat* 2008;21:486-91.

Lin JC, Liou EJ, Bowman SJ. Simultaneous reduction in vertical dimension and gummy smile using miniscrew anchorage. *J Clin Orthod* 2010;44:157-70.

Liu H, Liu DX, Wang G, Wang CL, Zhao Z. Accuracy of surgical positioning of orthodontic miniscrews with a computer-aided design and manufacturing template. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:728.e1-e10.

Liu H, Liu DX, Wang G, Wang CL, Zhao Z. Editors Comment: Accuracy of surgical positioning of orthodontic miniscrews with a computer-aided design and manufacturing template. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:728-9.

Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P et al. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol.* 2009;71:461-8.

Lüllmann-Rauch, R. *Histologie*, 1. Auflage. Georg Thieme Verlag 2003.

Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106:106-14.

Ludwig B, Glasl B, Lietz T, Bumann A, Bowman AJ. Techniques for attaching orthodontic wires to miniscrews. *J Clin Orthod* 2010;44:36-40.

Luzi C, Verna C, Melsen B. Guidelines for success in placement of orthodontic mini-implants. *J Clin Orthod* 2009;43:39-44.

Martinelli FL, Luiz RR, Faria M, Nojima LI. Anatomic variability in alveolar sites for skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;138:252.e1-e9.

Moll KJ, Moll M. *Kurzlehrbuch Anatomie*, 17. Auflage. Urban & Fischer 2002.

de Morais LS, Serra GG, Albuquerque Palermo EF, Andrade LR, Müller CA, Meyers MA et al. Systemic levels of metallic ions released from orthodontic mini-implants. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009;135:522-9.

Motoyoshi M, Inaba M, Ono A, Ueno S, Shimizu N. The effect of cortical bone thickness on the stability of orthodontic mini-implants and on the stress distribution in surrounding bone. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;38:13-8.

Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol*. 1998;8:1558-64.

Müller-Hartwich R, Präger T, Park JA, Jost-Brinkmann P-G. Kieferorthopädische Verankerung mit Minischrauben – Auswahl geeigneter Insertionsorte und Mechaniken. *Kieferorthop* 2006;3:195-202.

Ono A, Motoyoshi M, Shimizu N. Cortical bone thickness in the buccal posterior region for orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;37:334-40.

Park HS. An anatomical study using CT images for the implantation of micro-implants. *Korea J Orthod* 2002;32:435-41.

Park HS, HwangBo ES, Kwon TG. Proper mesiodistal angles for microimplant placement assessed with 3-dimensional computed tomography images. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:200-6.

Park HS, Kwon OW, Sung JH. Uprighting second molars with micro-implant anchorage. *J Clin Orthod* 2004;38:100-3.

Park HS, Jeong SH, Kwon OW. Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2006;130:18-25.

Park HS, Kwon OW, Sung JH. Nonextraction treatment of an open bite with microscrew implant anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2006;130:391-402.

Park HS, Oh YH. Forced eruption of a labially impacted canine using joined microimplants. *J Clin Orthod* 2010;44:108-13.

Park J, and Cho HJ. Three-dimensional evaluation of interradicular spaces and cortical bone thickness for the placement and initial stability of microimplants in adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009;136:314e1-12.

Park YC, Lee SY, Kim DH, Jee SH. Intrusion of posterior teeth using mini-screw implants. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2003;123:690-4.

Peltonen LI, Aarnisalo AA, Käser Y, Kortensniemi MK, Robinson S, Suomalainen A et al. Cone-Beam Computed Tomography: A new method for imaging of the temporal bone. *Acta Radiol*. 2009 Jun;50:543-8.

Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod* 2006;76:191-7.

Präger T, Karapetian V, Müller-Hartwich R, Zöller JE, Mischkowski R. Application of a computer navigation system for the placement of orthodontic anchorage screws. *Int J Comput Dent* 2008;11:201-12.

Renjen R, Maganzini AL, Röhrer MD, Prasad HS, Kraul RA. Root and pulp response after intentional injury from miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009;136:708-14.

Romanos G, Toh CG, Siar CH, Swaminathan D, Ong AH, Donath K, Yaacob H et al. Peri-implant bone reactions to immediately loaded implants. An experimental study in monkeys. *J Periodontol*. 2001;72:506-11.

Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*. 2006;72:75-80.

Schnelle MA, Beck FM, Jaynes RM, Huja SS. A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews. *Angle Orthod* 2004;74:832-7.

Serra G, Morais LS, Elias CN, Meyers MA, Andrade L, Müller CA, et al. Sequential bone healing of immediately loaded mini-implants: histomorphometric and fluorescence analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2010;137:80-90.

Sherrard JF, Rossouw PE, Benson BW, Carillo R, Buschang PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:100-8.

Shiota M, Kihara H, Fuji M, Kasugai S. Implant placement on restricted mesiodistal space with simulation software and guiding system: a case report. *Kokubyo Gakkai Zasshi*. 2009;76:130-5.

Soal S, Pollard M, Burland G, Lissaman R, Wafer M, Stringer MD. Rapid ultrathin slice plastination of embalmed specimens with minimal tissue loss. *Clin Anat*. 2010;23:539-44.

Soumalainen A, Vehmas T, Kortensniemi M, Robinson S, Peltola J. Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:10-7.

Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res*. 2003;6 Suppl 1:31-6; discussion 179-82.

Takashi Takaki, Naoki Tamura, Masae Yamamoto, Nobuo Takano, Takahiko Shibahara, Toshihiko Yasumura, et al. Clinical study of temporary anchorage devices for orthodontic treatment. *Bull Tokyo Dent Coll* 2010;51:151-163.

Tezel A, Orbak R, Canakci V. The effect of right- or left-handedness on oral hygiene. *Int J Neurosci* 2001;109:1-9.

Upadhyay M, Yadav S, Nanda R. Vertical-dimension control during en-masse retraction with mini-implant anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;138:69-108.

Veyre-Goulet S, Fortin T, Thierry A. Accuracy of linear measurement provided by cone beam computed tomography to assess bone quantity in the posterior maxilla: A human cadaver study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2008;10:226-30.

Wang Z, Zhao Z, Xue J, Song J, Deng F, Yang P. Pullout strength of miniscrews placed in anterior mandibles of adult and adolescent dogs: A microcomputed tomographic analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010;137:100-7.

Wedl JS, Schoder V, Guertekin M, Schmelzle R, Friedrich RE. Die Durchbruchzeiten der bleibenden Zähne bei Jungen und Mädchen in der Freien Hansestadt Bremen. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2004;26:12-6.

Wilmes B, Drescher D. Mini-Implantate zur KfO-Verankerung. *zm* 2009;15:34-8.

Wilmes B, Su YY, Drescher D. Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants. *Angle Orthod* 2008;78:1065-70.

Yao CC, Wu CB, Wu HY, Kok SH, Chang HF, Chen YJ. Intrusion of the overerupted upper left first and second molars by mini-implants with partial-fixed orthodontic appliances: a case report. *Angle Orthod.* 2004;74:550-7.

Yao CCJ, Lai EHH, Chang JZC, Chen I, ChenYJ. Comparison of treatment outcomes between skeletal anchorage and extraoral anchorage on adults with maxillary dentoalveolar protrusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2008;134:615-24.

Zhang L, Zhao Z, Li Y, Wu J, Zheng L, Tang T. Osseointegration of orthodontic mini-screws after immediate and early loading. *Angle Orthod.* 2010;80:354-60.

9. Anhang

9.1. Materialliste

- Mat. 1 iCAT® Classic mit Amorphous Silicon Flachdetektor, Xoran Technologies, Ann Arbor, Michigan, USA; Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, USA
- Mat. 2 SimPlant® Master Version 12.0, Fa. Materialise, Leuven, Belgien
- Mat. 3 EIZO RadiForce™ R31, 3 Megapixel, Fa. Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Germany
- Mat. 4 Desktop PC: Prozessor: Intel® Dual Core 3,06 GHz, Arbeitsspeicher: 4 GB Corsair® RAM, Festplatte: 2x 500 GB Samsung® SATA, Grafikkarte: MATROX® RAD-PCI, Betriebssystem: Microsoft® Windows® XP Professional
- Mat. 5 STATA® 8.0, Stata Corporation, Texas, USA
- Mat. 6 SAS® 9.1 (SAS Institute Incorporated, Cary, North Carolina, USA)

9.2. Danksagung

Mein allerherzlichster Dank gilt Prof. Dr. A. Bumann für die Überlassung dieses spannenden Themas.

Herrn Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann bin ich sehr dankbar für die freundlichen Hilfestellungen bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Mein weiterer Dank gilt Frau Dr. Silke Lange für die hilfreiche Unterstützung und Beratung bei der statistischen Auswertung.

Der Firma Materialise danke ich für das freundliche zur Verfügung stellen der Software SimPlant® Master 12.0.

Meinen Eltern Dr. Wilhelm und Brigitte Hollenstein bin ich dankbar für die viele Unterstützung, die sie mir nicht nur während der Erstellung dieser Arbeit haben zukommen lassen.

Außerdem danke ich Jesus Christus aus tiefstem Herzen für seine Gnade.

9.3. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9.4. Selbständigkeitserklärung

Ich, Jan-Hendrik Hollenstein, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Digitale Vermessung des Oberkieferalveolarknochens zur Bestimmung des Platzangebotes für kieferorthopädische Verankerungspins“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Datum

Unterschrift