

Aus dem Bereich Zahnmedizin
Der Medizinischen Fakultät
Der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

Mögliche Auswirkungen von im anterioren Gaumen inserierten Minischrauben auf die Sensibilität der Oberkiefer-Frontzähne

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2015

Klinik für Kieferorthopädie

Leitung: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Jörg Lisson

vorgelegt von: Joachim Hammer

geb. am: 23.08.1985 in Oberwesel

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
Einleitung	5
Grundlegende Eigenschaften gebräuchlicher orthodontischer Minischrauben.....	5
Der anteriore Gaumen als Insertionsareal für Minischrauben	6
Nullhypothese	8
Patienten und Methoden	9
Behandlungsprotokoll	9
Selektion - Inklusions- und Exklusionskriterien.....	10
Diagnostik an Behandlungsunterlagen.....	11
Röntgenaufnahmen	11
Intraorale Fotoaufnahmen	12
Minischrauben und Apparaturen	12
Stand der Dentition.....	13
Nachuntersuchung.....	13
Organisation der klinischen Nachuntersuchung	14
Aufbereitung der erhobenen Daten	16
Statistische Analyse.....	16
Ergebnisse	17
Selektion – Inklusions- und Exklusionskriterien.....	17
Diagnostik an Behandlungsunterlagen.....	18
Röntgenaufnahmen	18
Intraorale Fotoaufnahmen	19
Minischrauben und Apparaturen	19
Stand der Dentition.....	22
Nachuntersuchung.....	23

Organisation der klinischen Nachuntersuchung	23
Studiendesign	33
Diskussion	35
Schlussfolgerung	43
Literatur	44
Abbildungsverzeichnis	50
Tabellenverzeichnis.....	51
Publikation und Dank	52

Zusammenfassung

Mögliche Auswirkungen von im anterioren Gaumen inserierten Minischrauben auf die Sensibilität der Oberkiefer-Frontzähne

Das Ziel dieser Longitudinalstudie war es nachzuweisen, dass die Insertion von Minischrauben im anterioren Gaumen keine Auswirkung auf die Sensibilität und Vitalität der oberen 6 Frontzähne hat.

Zu Beginn stand ein Patientenpool von 382 Patienten zur Verfügung, der in einer Longitudinalstudie zu 3 Zeitpunkten T0, vor kieferorthopädischer Therapie, T1, während kieferorthopädischer Therapie und T2, Patient bei klinischer Nachuntersuchung, ausgewertet wurde.

Nach Selektion im Studienabschnitt T0 und T1 und einem Dropout von 63 Patienten reduzierte sich die Patientenzahl auf 319.

Erfasst wurden persönliche Daten der Patienten, Röntgenaufnahmen wurden ausgewertet, ebenso wie intraorale Fotoaufnahmen. Des Weiteren wurde die Art der verwendeten Minischraube und Apparatur festgehalten und der Stand der Dentition notiert. Zur Nachuntersuchung, Studienzeitpunkt T2, wurden 100% der zum Zeitpunkt T0 und T1 erfassten 319 Patienten eingeladen.

39 Patienten (12,2%) folgten der Einladung.

Die Nachuntersuchung diente dem Erfragen von Traumata, Narbenbildungen und der Begutachtung parodontaler Erkrankungen und oder Schädigungen, sowie der Vitalitätstestung der 6 oberen Frontzähne mittels Kältetestung. Alle zusammengetragenen Daten zum Zeitpunkt T0, T1 sowie T2 zielten auf einen neuen Erkenntnisgewinn innerhalb des Gebietes der palatinalen Minischraubeninsertion hin, um diese prognostizierbar sicherer zu machen.

Ergebnisse:

Drei Patienten erlitten einen Sensibilitätsverlust. Alle drei Patienten waren weiblich und bei der Nachuntersuchung zwischen 16 und 31 Jahren alt. Der IOK-NL - Winkel betrug bei 2 Patienten 99,2° und 98,5°, zeigte also eine leichte Tendenz zur Retroinklination, ein Patient mit Sensibilitätsverlust wies eine Orthoinklination des IOK/NL-Winkels auf, 110,5°.

Bei allen 3 Patienten mit Vitalitätsverlust konnten die Minischrauben nicht im empfohlenen Bereich des dritten Gaumenfalten Paares inseriert werden. Vitalitätsverluste traten an den Zähnen 13, 22 und 21 auf. Die Längen der Schrauben lagen zweimal bei 8 mm und einmal bei 6 mm Länge. Die Durchmesser aller Schrauben bei 1,7 mm.

Keiner der 3 Patienten wies eine röntgenologisch sichtbare Wurzelverletzung auf.

Schlussfolgerung:

- Auch wenn sich radiografisch ein Zusammenhang zwischen Sensibilitätsverlust, respektive Vitalitätsverlust, durch direkte Wurzelperforation durch die Minischrauben nicht zweifelsfrei belegen ließ, konnte die Insertionsposition der Minischrauben – unabhängig davon, ob im Wechsel- oder permanenten Gebiss behandelt wurde – als statistisch relevanter Faktor identifiziert werden
- Die Inklination der oberen Schneidezähne schien keinen ungünstigen Einfluss zu haben
- Bei allen drei betroffenen Patienten wurden die Minischrauben im Bereich des zweiten Gaumenfaltenpaares inseriert. Es kann daher angenommen werden, dass eine mehr posteriore Position zu bevorzugen ist

Insgesamt ist festzuhalten, dass unsere Studie erstmals den Zusammenhang des Verlustes sensibler Reaktionsfähigkeit eines Zahnes, respektive Vitalitätsverlust, verursacht durch Minischrauben, evaluiert hat.

Summary

Possible effects of mini screws inserted in the anterior palate on the sensitivity of the maxillary anterior teeth

The aim of this longitudinal study was to demonstrate that the insertion of mini-screws in the anterior palate has no effect on the sensitivity and vitality of the upper front teeth.

It began with a patient pool of 382 patients. In a longitudinal study at 3 time points T0, before orthodontic treatment, T1 during orthodontic treatment, and T2 at clinical follow-up, the patient were evaluated.

After selection of the study section T0 and T1 and a dropout of 63 patients the number of patients was reduced on 319.

Personal data of the patients, radiographs and intraoral photographs were evaluated and recorded. Furthermore, the type of mini screw and apparatus used was recorded in writing and the state of dentition was noted. At time T2 100% of the recorded T0 and T1 patients (319 patients) were invited to the follow-up.

39 patients (12.2%) accepted the invitation.

The follow-up served to ask for trauma, periodontal disease and/ or damage, as well as vitality testing of the 6 maxillary anterior teeth by means of cold testing. All data collected at time T0, T1 and T2 were aimed at new insights within the territory of the palatal mini screw insertion to make this forecast safer.

Results:

Three patients suffered a loss of sensitivity. The three patients were female and between 16 and 31 years old (at follow-up). The IOK/NL- angle was 99.2 ° and 98.5 °, which is a slight tendency to retro-inclination. A patient with sensory loss was ortho-inclined (110.5°).

In all 3 patients with loss of vitality, the mini screws could not be inserted in the

recommended area of the third rugae pair. Loss of vitality occurred on the teeth 13, 22 and 21. The lengths of the screws were 2 times 8 mm and once 6 mm. The diameter of all three screws was 1,7 mm.

None of the 3 patients had a radiographically visible root injury.

Conclusion:

- Even if a connection between sensory loss or loss of vitality, through direct root perforation by the mini screws could not be proved radiographically without a doubt, the insertion position of the mini screws - is identified as statistically significant factor - independently if treated in mixed or permanent dentition
- The inclination of the upper incisors seemed to have no adverse effect
- In all three affected patients, the mini screws were inserted in the region of the second pair of rugae. It can therefore be assumed that a more posterior position has to be preferred

Overall, it should be noted that our study has evaluated for the first time the relationship of the loss of sensitive responsiveness of a tooth, respectively vitality loss, caused by mini screws.

Einleitung

Minischrauben dienen in der Kieferorthopädie der skelettalen Verankerung für spezielle kieferorthopädische Behandlungsaufgaben, die unabhängig von der Mitarbeit (compliance) des Patienten durchgeführt werden müssen. Sie stellen eine Alternative zu extraoralen Verankerungsapparaturen, wie beispielsweise dem Headgear [1] oder der Delaire-Maske [2], dar, die stark compliance-abhängig sind und häufiger Remotivation bedürfen, was sowohl Patientenführung als auch Behandlungserfolg erschweren kann [3, 4].

Grundlegende Eigenschaften gebräuchlicher orthodontischer Minischrauben

Bereits 1945 wurde im Tierversuch eine compliance-unabhängige Verankerungsmöglichkeit gesucht. Hierzu wurden Vitalliumschrauben in den Knochen inseriert, wobei keine Osseointegration stattfand und der Halt lediglich retentiv erfolgte. Alle Schrauben gingen in diesem Versuch verloren (Misserfolgsrate = 100%).

Der Misserfolg wurde Mikroorganismen in der Mundhöhle zugeschrieben [5].

1983 inserierten Creekmore und Eklund eine Vitalliumschraube im Bereich der Spina nasalis anterior und nutzten diese zur Intrusion der Oberkieferfront [6].

Bei den heutigen kieferorthopädischen Minischrauben handelt es sich um eine Modifikation von chirurgischen Kortikalisschrauben. Sie bestehen aus einem Gewinde, dem Hals und einem Kopf.

Der Kopf dient der Befestigung der kieferorthopädischen Apparatur. Die meisten heute erhältlichen Minischrauben sind aus einer Titanlegierung gefertigt. Wenige verwenden Edelstahl als Material [7]. Die Oberfläche ist im Vergleich zu herkömmlichen Implantaten glatt. Dies ermöglicht ein leichtes Entfernen, da keine Osseointegration stattfindet [8]. Die Gewinde sind entweder konisch oder zylindrisch gestaltet und können selbstbohrend oder selbstschneidend sein. Bei der Verwendung selbstschneidender Pins ist eine Vorbohrung erforderlich.

Der anteriore Gaumen als Insertionsareal für Minischrauben

Der vordere Gaumen beschreibt die Region in der Nähe des dritten Gaumenfaltenpaares. Er bietet ausreichend Knochen zur Minischraubeninsertion. Diverse Studien zur Knochenqualität beziehungsweise bezüglich der Knochendicke weisen den harten Gaumen als geeignetes Areal zur Insertion aus [9-12]. Auch sind keine signifikanten Knochenqualitätsunterschiede bezüglich des Geschlechts festgestellt worden [13].

Weiterhin bietet der anteriore Gaumen neben ausreichendem Knochenangebot eine gute Zugänglichkeit und ausreichend keratinisierte Gingiva [14, 15]. Diese Faktoren tragen zu einer hohen Erfolgsrate bei [16] bei. Erfolgsraten von 100% sind dokumentiert [17]. Bei der Verwendung von Minischrauben ist die Verankerung der kieferorthopädischen Apparatur vom Halteapparat auf die Minischraube übertragen worden.

Minischrauben sind in einem Winkel von 90 Grad (senkrecht) zur Knochenoberfläche des anterioren Gaumens zu inserieren [18]. Hieraus resultiert eine nach anterior kranial gerichtete Insertionsrichtung. Abbildung 1 soll hier zur Veranschaulichung und näherem Verständnis dienen.

Aufgrund der dort zu sehenden topografisch anatomischen Gegebenheiten könnte angenommen werden, dass die Insertion der Minischrauben im anterioren Gaumen – durch direkten Kontakt mit dem Zahn oder mit dem Gefäß-Nerven-Bündel – zu Auswirkungen auf die Sensibilität der Oberkiefer-Frontzähne führt. In der Literatur finden sich jedoch hierzu bisher keine Angaben.



Abb. 1: Insertionsrichtung der Minischraube

Zur Überprüfung eines möglicherweise eingetretenen Sensibilitätsverlusts kann eine Überprüfung mittels thermaler Testmethoden erfolgen [19, 20]. Diese umfassen Kälte- sowie Wärmetests. Auf Grund seiner einfachen Anwendbarkeit und der sehr schnellen Reizantwort ist das Kältespray heute die im Praxisalltag geläufigste Methode der Sensibilitätstestung [21].

Weitere Möglichkeiten, die einem Sensibilitätsverlust außer der Minischraubeninsertion zur Folge haben könnten, sind Traumata. Aus der Traumatologie ist bekannt, dass posttraumatische Sensibilitätsverluste temporär vorliegen können, ohne dass ein Vitalitätsverlust eingetreten ist [22]. Überprüfbar wird diese Situation durch Wiederholung der Sensibilitätsprüfung nach einer Latenzzeit von 4 bis 6 Wochen [21]. Auch kann ein Zahn zwar seine nervale Innervation eingebüßt haben, jedoch noch vaskulär innerviert sein [23]. Deshalb spielen bei der Diagnose Vitalitätsverlust an dieser Stelle weitere Faktoren, wie apikale Druckdolenz, Fistelung, sowie Perkussionsempfindlichkeit, mit ein [24].

Neben Traumata sind Paro-Endo-Läsionen, Endo-Paro-Läsionen oder Kombinationen mögliche Gründe für einen Vitalitätsverlust [25]. Mikrobiologische Reize durch pathogene, kariesverursachende Keime - bei profunder Karies - können ebenfalls für einen Verlust sensibler Reaktion verantwortlich sein [26]. Eine bereits durchgeführte Wurzelkanalbehandlung ist an einer oral erkennbaren Trepanationsöffnung klinisch [27], sowie durch röntgenopakes Wurzelfüllmaterial röntgenologisch [28], zu erkennen.

Da ein nicht sensibel reagierender Zahn noch Anschluss an das Gefäßnetz haben kann, ein avitaler Zahn demgegenüber jedoch nicht sensibel reagieren kann, wird bei funktionierender Sensibilität von einem vitalitätspositiven Zahn ausgegangen [29].

Nullhypothese

Das Ziel dieser Studie ist es nachzuweisen, dass die Insertion von Minischrauben im anterioren Gaumen keine Auswirkung auf die Sensibilität und Vitalität der oberen 6 Frontzähne hat.

Patienten und Methoden

Bei dem Studienkollektiv handelt es sich um 382 Patienten, bei denen Minischrauben zur skelettalen Verankerung inseriert wurden.

Das Studienprotokoll definiert 3 Untersuchungszeitpunkte. Zeitpunkt T0, Patient vor kieferorthopädischer Therapie, Zeitpunkt T1, Patient während kieferorthopädischer Therapie und Zeitpunkt T2, Patient bei klinischer Nachuntersuchung.

Zum Zeitpunkt T0 und T1 wurden Informationen der Patientenakten gefiltert und auf Vollständigkeit überprüft. Fehlende oder unklare Informationen führten zum Ausschluss des Patienten. Dokumentiert wurden persönlichen Informationen wie Name, Alter und Geschlecht. Es folgte eine Auswertung von Röntgenübersichtsaufnahmen und Fernröntgenseitenbilder und eine Durchsicht der angefertigten intraoralen Fotoaufnahmen. Die Art der verwendeten Minischraube und der jeweils verwendeten Apparatur wurde festgehalten, ebenso der Stand der Dentition.

Zum Zeitpunkt T2 der Arbeit folgten klinische Untersuchungen, zu denen das selektierte Studienkollektiv eingeladen wurde. In diesem Teil wurden die Patienten anamnestisch befragt und klinische Diagnostik bezüglich sensibler Reaktionsfähigkeit durchgeführt. Weiterhin erfolgten die Erhebung parodontaler Parameter und die klinische Beurteilung des peridentalen Kieferbereichs. Zuletzt wurden Orthopanthomogramme auf röntgenologisch-sichtbare Wurzelverletzungen hin untersucht.

Behandlungsprotokoll

Alle Minischrauben wurden durch einen erfahrenen Behandler inseriert. Die Insertion erfolgte nach einem standardisierten Protokoll. Nach präoperativer Planung aufgrund von Röntgenbildern und Situationsmodellen erfolgte der eigentliche Eingriff. Nach Übertragung des Insertionsortes vom Modell auf den Mund erfolgte eine Infiltrationsanästhesie (Ultracain® D-S, Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Frankfurt, Germany). Der ausgewählte Schraubentyp wurde ohne Weichgewebsinzision mittels motorisiertem Handstück bei 60 U/min eingebracht. Der Torque war auf 30 Ncm limitiert. Alle Minischrauben wurden zeitgleich mit dem Debonding der festsitzenden Apparatur entfernt.

Das Debonding erfolgte mittels spezieller Bracket-Entfernungszange. Die Entfernung des Bracket-Bonding-Materials wurde unter Zuhilfenahme von Hartmetallfinierern mit suffizienter Spraykühlung durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Politur der Zähne mittels Gummipolierern, ebenfalls unter suffizienter Spraykühlung (mindestens 60ml/min).

Selektion - Inklusions- und Exklusionskriterien

In das Studienkollektiv wurden nur jene Patienten aufgenommen,

- bei denen Minischrauben palatinal im anterioren Gaumen inseriert wurden. Interradikuläre beziehungsweise alternative Insertionsregionen wurden nicht berücksichtigt.
- bei denen nachfolgende Anforderungen an die Behandlungsdokumentation erfüllt waren:
 - Lückenlose Dokumentation in den Patientenkarteien
 - Vorhandensein von prätherapeutischer Röntgenübersichtsaufnahme (OPG) und prätherapeutischer Fernröntgenseitenaufnahme (FRS)
 - Intraorale Fotoaufnahmen
 - Patienten mit kraniofaszialen Malformationen, systemischen Erkrankungen, Chemo- bzw. Strahlentherapie während der Zahnentwicklung wurden ausgeschlossen. Letztere, da Auswirkungen auf die Zahn- respektive Wurzelentwicklung beschrieben wurden [30-32]

Für jeden Patienten wurde Name, Vorname, Geburtsdatum (zur Errechnung des Lebensalters), sowie Geschlecht aus der Patientenkartei entnommen. Zur Sicherstellung des Datenschutzes wurde der Patientennamen anonymisiert aufgezeichnet und mit einer eindeutigen Identifikationsnummer (Patienten-Id) versehen.

Diagnostik an Behandlungsunterlagen

Röntgenaufnahmen

Röntgenübersichtsaufnahmen waren für alle Patienten für den Zeitpunkt vor Behandlungsbeginn – T0 - und nach dem Debonding der festsitzenden Apparatur – Zeitpunkt T2 - verfügbar. Sie dienten der Befundung und Diagnose der maxillären Frontzähne hinsichtlich prätherapeutischer periapikaler Pathologien, sowie der Beurteilung von durch Minischrauben verursachten Wurzelverletzungen, die einen Effekt auf die Sensibilitätstestung haben können. Auch wurden die Röntgenbilder auf bereits erfolgte endodontische Therapie hin ausgewertet.

An den Fernröntgenseitenbildern wurde die Inklination der maxillären Schneidezähne (IOK/NL) ermittelt. Der sich zwischen Oberkieferbasis (Spa-Pm) und Achse des Schneidezahnes (Is-Isa) ergebende Winkel wird von posterior gemessen (eine schematische Darstellung des Winkels zeigt Abbildung 2). Der Normwert dieses Parameters beträgt $(112,5^\circ \pm 3^\circ)$ und gibt eine regelrechte Inklination (Orthoinklination) des Zahnes an. Größere Werte zeigen einen labialen „Kippstand“ (Anteinklination), kleinere Werte einen Steilstand (Retroinklination) an.

Weiterhin diene das Fernröntgenseitenbild als weitere Ebene zur Diagnose von potentiellen, durch die Minischraube verursachten, Wurzelverletzungen.

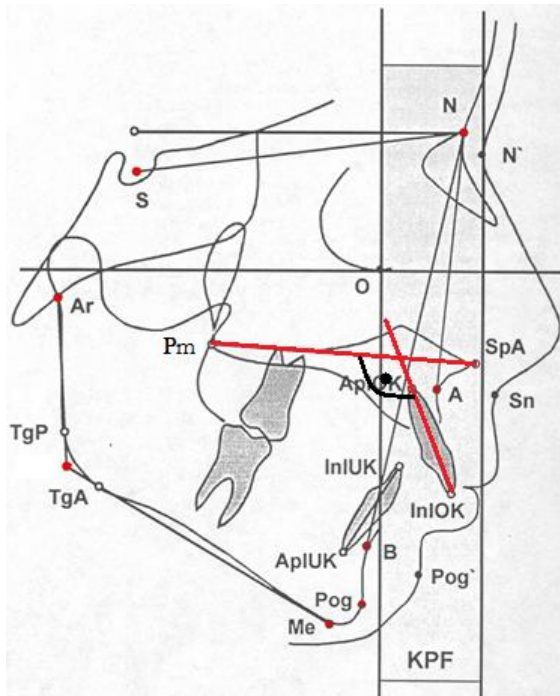


Abb. 2: Schematische Darstellung des IOK/NL-Winkels

Intraorale Fotoaufnahmen

Zur Bestimmung der Insertionsposition der Minischrauben dienten die Rugae palatinae als anatomisch stabile Strukturen [33]. Die genaue Auswertung wurde durch standardisiert aufgenommene intraorale Fotoaufnahmen ermöglicht, die mit digitaler Spiegelreflexkamera (Nikon D90, Nikon Corporation, Tokyo, Japan) und Makroobjektiv (AF105MM F2.8 EX DG MACRO F, Sigma Corporation, Kanagawa, Japan), sowie eines Okklusalspiegels (E. Hahnenkratt GmbH, Königsbach-Stein, Germany) angefertigt wurden.

Minischrauben und Apparaturen

Aus den Patientenkarteien wurden Art beziehungsweise System/Hersteller sowie Länge der verwendeten Minischrauben und die darauf verankerten kieferorthopädischen Apparaturen ermittelt.

Stand der Dentition

Bezogen auf das nationale Reglement zum möglichen Beginn einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung, waren bei allen behandelten Patienten zumindest die vier permanenten Schneidezähne vollständig durchgebrochen. Um mögliche Auswirkungen hinsichtlich eines Sensibilitätsverlusts zu detektieren, wurde der Zahnstatus zum Zeitpunkt der Minischraubeninsertion als „Wechselgebiss“ oder „permanente Dentition“ aufgezeichnet.

Nachuntersuchung

Alle Untersuchungen zum Zeitpunkt T2 dienten der Verifizierung der vom Zeitpunkt T0 und T1 gesammelten Daten.

Als zentrales Untersuchungskriterium sollen Auswirkungen der Pininsertion auf die Sensibilität der oberen Frontzähne untersucht werden.

Ebenso dienen die Untersuchungen zum Zeitpunkt T2 dem Erfragen von Traumata, die der Behandlung vorausgingen oder folgten, sowie der intraoralen Begutachtung von Narbenbildungen und der Begutachtung parodontaler Schädigungen.

Zusammenfassend zielen alle zusammengetragenen Daten zum Zeitpunkt T0, T1 sowie T2 auf einen neuen Erkenntnisgewinn innerhalb des Gebietes der palatinalen Minischraubeninsertion hin, um diese prognostizierbar sicherer zu machen.

Ethikvotum

Zur Nachuntersuchung des selektierten Patientengutes zum Zeitpunkt T=2 wurde ein Ethikvotum der Ärztekammer des Saarlandes eingeholt (Nummer: 224/13).

Hierin wurde die Genehmigung der Nachuntersuchung des Patientengutes erteilt und berufsrechtliche und ethische Bedenken ausgeräumt.

Organisation der klinischen Nachuntersuchung

Alle ermittelten Patienten wurden postalisch gebeten, an der klinischen Nachuntersuchung zum Zeitpunkt T2 teilzunehmen. Hierzu wurde ein standardisiertes Schreiben erstellt, welches das Studienziel erläuterte und den Patienten die Möglichkeit gab, sich telefonisch, per Fax, per Email oder auf dem Postweg zu melden.

Als Termine für die Nachuntersuchung standen den teilnehmenden Patienten sieben Freitage und Samstage, in der Zeit von 8.00 Uhr – 16.00 Uhr zur Verfügung.

Anamnestische Befragung

Traumata wurden in der Patientennachuntersuchung in einem kurzen anamnestischen Gespräch erfragt, um den eventuellen Verlust einer positiven Reaktion auf den Kältereiz erklärbar zu machen.

Weiterhin wurde nach dem Empfinden einer Narbenbildung als subjektiv spürbare Narbe (taktil mittels Zunge), sowie nach durchgeführten periapikalen Eingriffen gefragt.

Klinische Diagnostik

Die klinische Diagnostik umfasste Sensibilitätsproben, die Erhebung parodontaler Parameter sowie die Begutachtung peridentaler Kieferareale. Die Untersuchungen beschränkten sich auf die Regio 13-23.

Sensibilitätsproben

Die Sensibilitätsproben erfolgten mittels Omnident Kältespray 200ml (REF Nr. 75816, Omnident Dental-Handelsgesellschaft mbH Rodgau/Nieder-Roden) und Omnident Schaumstoffpellets Ø 5mm (REF Nr. 56689).

Parodontale Parameter

Sondierungstiefen und Attachmentverluste, sowie Lockerungsgrade wurden ermittelt. Die Sondierungstiefen und Attachmentverluste wurden jeweils mesial und distal von oral mittels parodontaler Messsonde (Parodontometer #11 Gr #30 Qulix 3-6-8-11, Art.-Nr. PCP 11, Hu-friedy, Tutlingen) erhoben. Lockerungsgrade wurden für die Frontzähne ermittelt (I, Erstes Anzeichen einer Beweglichkeit größer als die Norm (physiologisch), II, Zahnbeweglichkeit mit Auslenkung der Krone in alle Richtungen um 1 mm, III, Zähne die in der Alveole gedreht oder intrudiert werden können [34]). Sie wurden als zusätzliches Diagnosekriterium festgelegt, welche auf parodontale Schädigungen oder entzündliche Geschehen hindeuten können [35], die nach Verletzung des Parodontalspaltes in Kombination mit entzündlichen Reaktionen auftreten können.

Begutachtung peridentaler Kieferareale

Das Oberkiefer-Vestibulum wurde ebenso wie der anteriore harte Gaumen auf Fistelgänge hin untersucht, der apikale Bereich auf Druckdolenz geprüft. Schwellungen und Rötungen wurden, falls sichtbar, notiert.

Röntgenologische Abschlussdiagnostik

Eine röntgenologische Abschluss-Auswertung erfolgte zum Zweck des Ausschlusses eines sichtbaren Vorliegens einer Wurzelverletzung durch die Minischraubeninsertion (Ausschluss eines sogenannten „trans-fix“). Die Röntgenaufnahmen wurden auf vorhandene Wurzelfüllungen hin untersucht und diese bei Vorhandensein dokumentiert.

Aufbereitung der erhobenen Daten

Die erhobenen Daten wurden in einem erstellten Dokumentationsbogen festgehalten. Der Dokumentationsbogen wurde mit Hilfe einer Tabellenkalkulationssoftware (Microsoft Excel 2010, Microsoft Office 2010, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) erstellt. In ihm enthalten sind alle erhobenen Daten (Name, Vorname, Geb.-Datum, Geschlecht, IOK/NL-Winkel, Gaumenfaltenpaar der Insertion, Sensibilitätsproben der oberen 6 Frontzähne, Attachmentverlust und Sondierungstiefen mesial und distal an den Zähnen 13-23, Minischraubenlänge, Minischraubendurchmesser, Typ der verwendeten Minischraube sowie Art der verwendeten Apparatur, Patientenalter bei Behandlungsbeginn, Pininsertion und bei der Nachuntersuchung, sowie der Status der Dentition) aufgeführt.

Statistische Analyse

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 22.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die Darstellung der metrischen Variablen erfolgte durch Mittelwerte und Mediane, während die Streumaße als Standardabweichungen angegeben wurden. Bei den kategorisierten Daten wurden die Häufigkeiten(n) sowie die gesamten und gültigen Prozentzahlen berechnet.

Die grafische Darstellung wurde ebenfalls mit Hilfe von SPSS erstellt. Hierbei wurden die Verteilungen von Werten stetiger Variablen in Histogrammen aufgetragen, während Häufigkeiten von kategorisierten Parametern in Balkendiagrammen veranschaulicht wurden. Zur grafischen Darstellung kam zusätzlich Microsoft Excel (Microsoft Office 2010, Excel 2010, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) zur Anwendung.

Ergebnisse

Selektion – Inklusions- und Exklusionskriterien

Aus Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien resultierte eine endgültige Zahl von 319 zu untersuchenden Patienten (ursprünglich 382 Patienten, 63 Dropouts). Weibliche Patienten waren mit einer Anzahl von 207 (64,9%) in der Studie vertreten. Die Zahl der männlichen Patienten belief sich auf 112 (35,1%). Das durchschnittliche Alter der Patienten bei Behandlungsbeginn lag bei 14,74 Jahren. Das Alter des jüngsten Patienten betrug 5 Jahre, das Alter des Ältesten 55 Jahre. Das durchschnittliche Alter bei der Pininsertion betrug 15,01 Jahre. Die früheste Insertion fand im Alter von 6 Jahren, die späteste im Alter von 55 Jahren statt.

Diagnostik an Behandlungsunterlagen

Röntgenaufnahmen

Die Inklination der Oberkieferschneidezähne (IOK/NL) betrug im Mittel $109,98^\circ$ (Standardabweichung $\pm 8,54^\circ$; Minimum $85,90^\circ$; Maximum $138,3^\circ$).

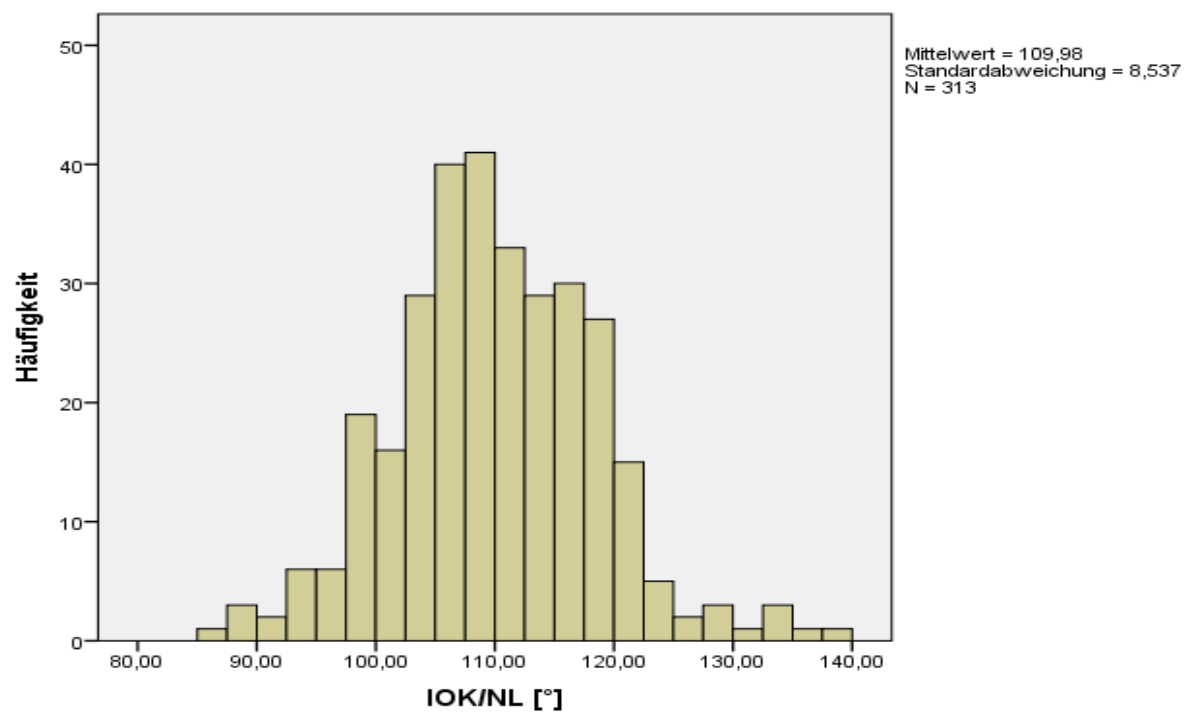


Abb. 3: Histogramm zur Häufigkeit der aufgetretenen IOK/NL-Winkel[°]

Intraorale Fotoaufnahmen

Die Auszählung der Gaumenfaltenpaare der Insertionsstellen am anterioren Gaumen ergab mit großer prozentualer Mehrheit (>85%) das dritte Gaumenfaltenpaar. Im Mittelwert wurden die Pins im 2,86ten Gaumenfaltenpaar platziert.

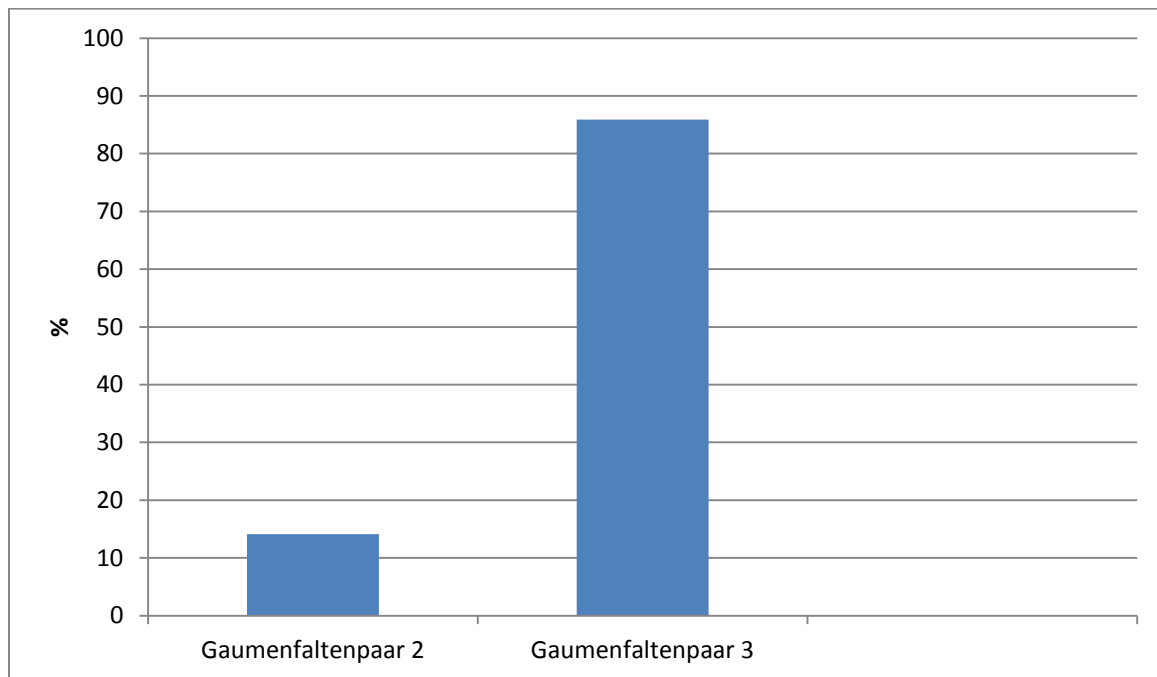


Abb. 4: Prozentuale Verteilung der Insertionsorte der Minischrauben

Minischrauben und Apparaturen

Schraubenlänge

Unabhängig vom Schraubentyp wurde die Bestimmung der Länge der Minischrauben für jeden der 319 Patienten vorgenommen. Im Mittel lag die Schraubenlänge bei 7,93 mm (SD=0,712 mm; Minimum 6 mm; Maximum 10 mm).

Schraubendurchmesser

Von allen inserierten Schrauben wurde der Durchmesser bestimmt. Im Mittel lag der Schraubendurchmesser bei 1,71 mm (SD= 0,06 mm; Minimum 1,6 mm; Maximum 2 mm).

Schraubentyp

Das folgende Diagramm zeigt die Verteilung der inserierten Schraubentypen. Mit 94,8% war der Ortho easy pin (Forestadent, Pforzheim) der am häufigsten verwendete Minischraubentyp.

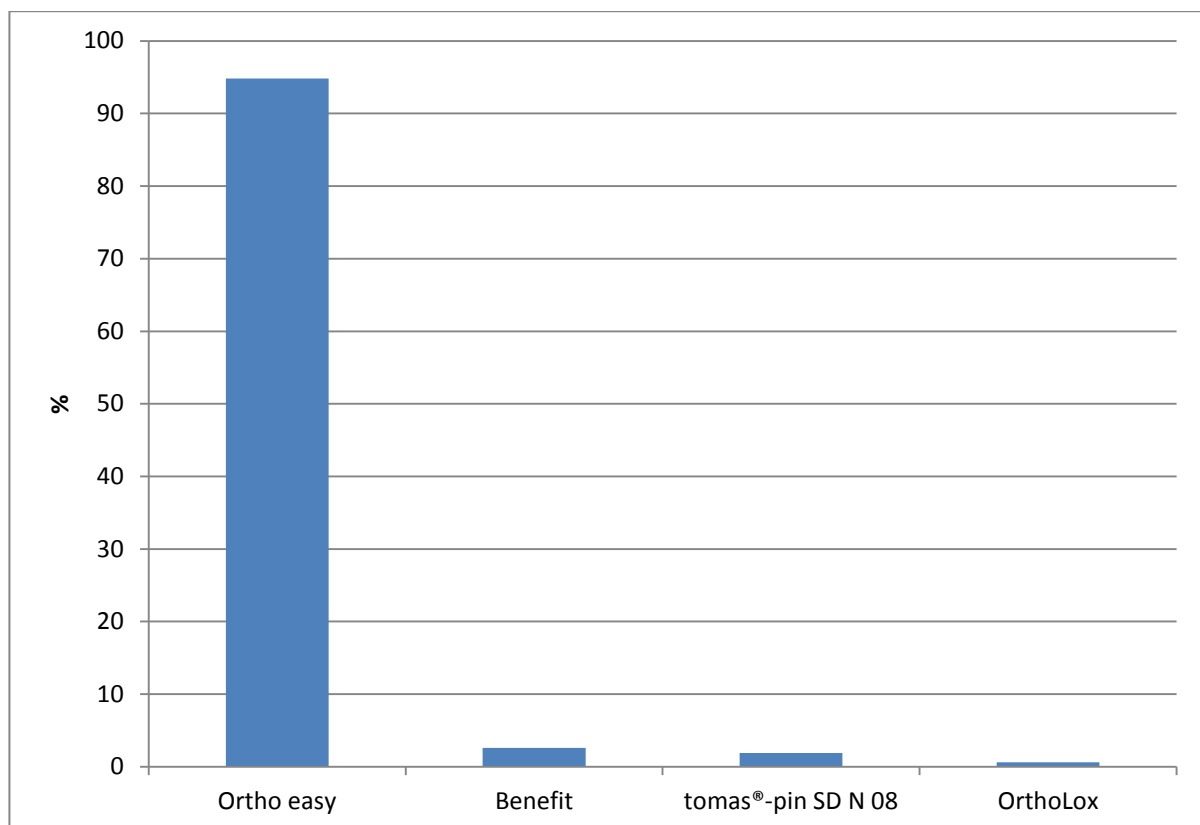


Abb. 5: Prozentuale Verteilung der verwendeten Minischrauben

Mit einer prozentualen Mehrheit von 94,8% wurde die Minischraube Ortho easy (Forestadent, Pforzheim) mit Abstand am häufigsten inseriert. Benefit-Pins (dentaline GmbH & Co. KG, Birkenfeld) wurden mit 2,6% am zweithäufigsten inseriert. Prozentual folgten der tomas[®]-pin SD 08 (Dentaurum, Ispringen) mit 1,9% und der OrthoLox-Pin (OrthoLox Kopplungssystem, PROMEDIA Siegen) mit 0,6%.

Verwendete kieferorthopädische Apparaturen

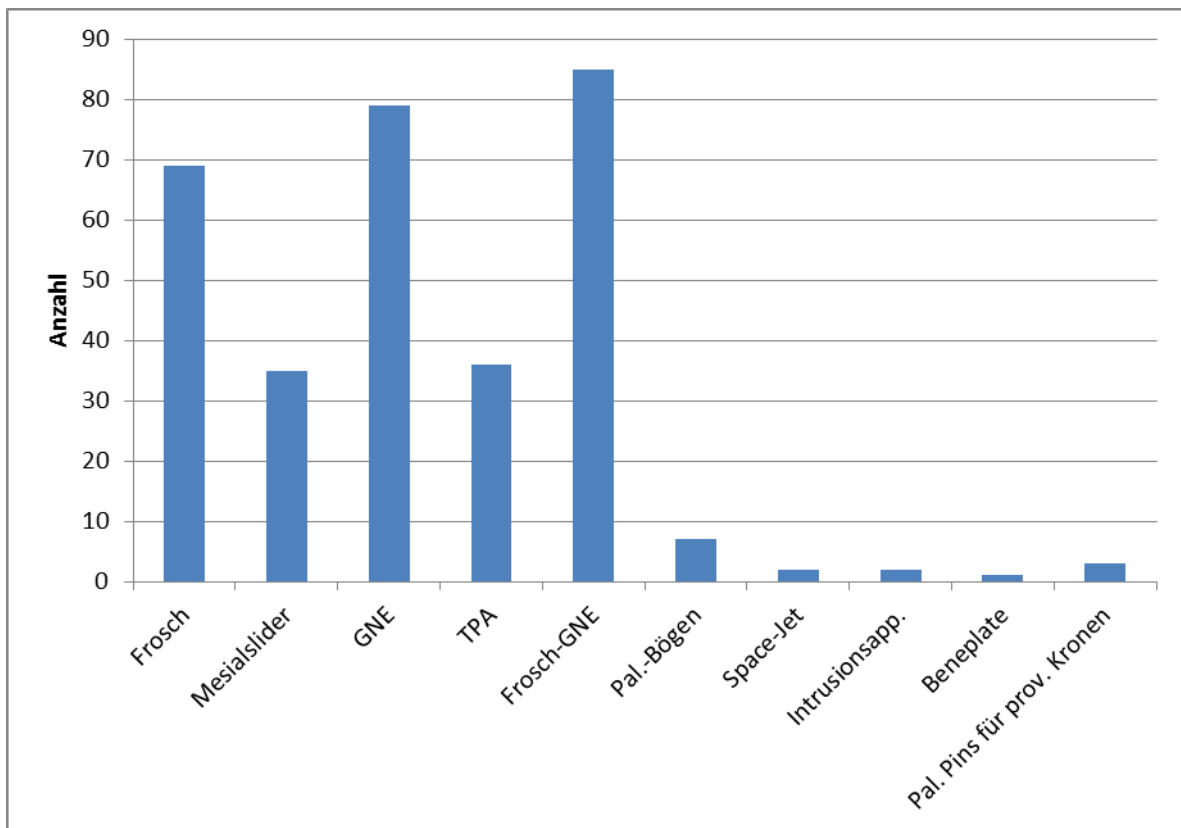


Abb. 6: Häufigkeit der verwendeten Apparaturen in absoluten Zahlen

(Frosch, Klasse II-Apparatur / Distalisation, Frosch Apparatur der Firma Forestadent, Pforzheim[36])

Mesialslider, Apparatur zum compliance-unabhängigen Lückenschluss[37]

GNE, Gaumennahterweiterungsapparatur, hier Hybrid-GNE[38]

TPA, Transpalatinalbogen[39]

Frosch-GNE, Kombinationsapparatur aus Frosch und Gaumennahterweiterungsapparatur

Palatinale Bögen, Halte- und Bewegungselemente palatinal gelegen

Space-Jet, Mesialisierung in Kombination mit Ortho easy Pins, Forestadent, Pforzheim[40]

Intrusionsapparatur, Apparatur zum Intrudieren elongierter Zähne

Beneplate, Distalisation Molaren, psm MEDICAL SOLUTIONS, Tuttlingen[41]

Palatinale Pins für prov. Kronen (provisorischer Einzelzahnersatz)

Apparatur	Anzahl (n)
Frosch-Apparatur	69
Mesialslider	35
GNE	79
TPA	36
Frosch-GNE	85
Pal.-Bögen	7
Space-Jet	2
Intrusionsapparatur	2
BENEplate	1
Palatinale Pins zur Aufnahme provisorischer Kronen	3

Tab.1: Häufigkeit der verwendeten Apparaturen in absoluten Zahlen

Stand der Dentition

Insgesamt waren unter den 319 untersuchten Patienten 183 Patienten in der Wechselgebissphase, während sich 136 Patienten in permanenter Dentition befanden. Das durchschnittliche Alter der Patienten, bei dem die prospektive Nachuntersuchung stattfand, betrug 18,21 Jahre. Das höchste Patientenalter lag hier bei 48 Jahren. Der jüngste nachuntersuchte Patient war 9 Jahre alt.

Nachuntersuchung

Organisation der klinischen Nachuntersuchung

Alle 319 (100%) Patienten wurden postalisch gebeten, an der Nachuntersuchung teilzunehmen. Von den 319 verschickten Briefen waren 5 (1,6%) nicht zustellbar, da unbekannt verzogen. Von den restlichen 314 angeschriebenen Patienten gab es 38 (11,9%) Absagen und 39 (12,2%) Zusagen.

237 (74,3%) der versandten Schreiben blieben von Patientenseite unbeantwortet.

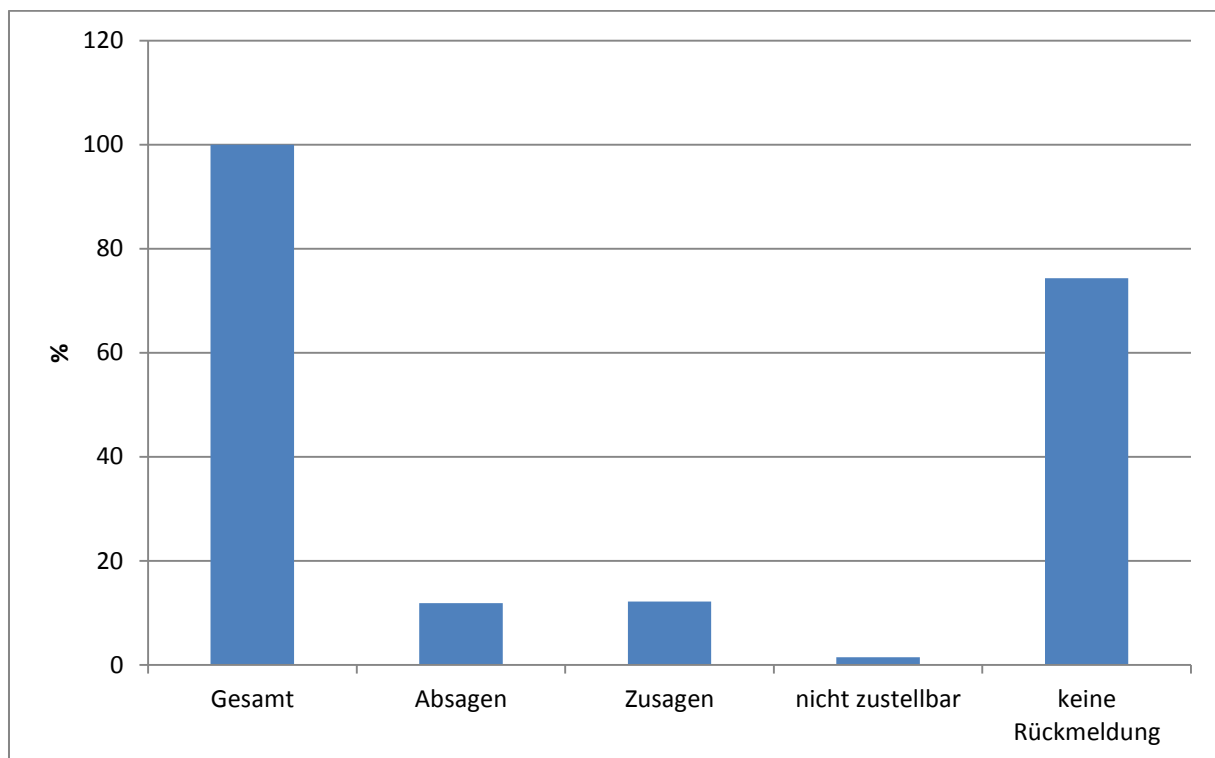


Abb. 7: Darstellung des Antwortverhaltens auf das postalische Anschreiben

Sensibilitätsproben

Die mittels Kältetest untersuchten Zähne 13, 12, 11, 21, 22, 23 sind hier einzeln bezüglich positiver und negativer Testung aufgeschlüsselt worden.

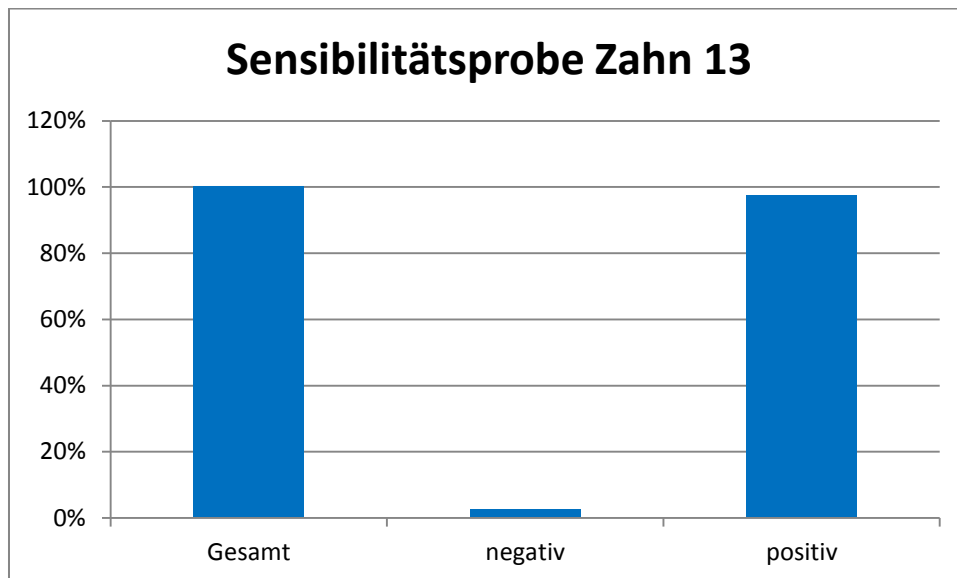


Abb. 8: Sensibilitätsproben an Zahn 13

Hier trat bei der Nachuntersuchung ein nicht sensibel reagierender Zahn auf. Dies sind 0,3% des gesamten Patientenpools (319 Patienten), allerdings 2,5% des nachuntersuchten Patientenpools bezogen auf den Zahn 13.

Bei den Sensibilitätsproben des Zahnes 12 waren alle 38 nachuntersuchten Zähne sensibilitätspositiv (100% sensibilitäts-positiv). Ein Zahn 12 war mittels Pin als „Ersatzzahn“ ersetzt worden.

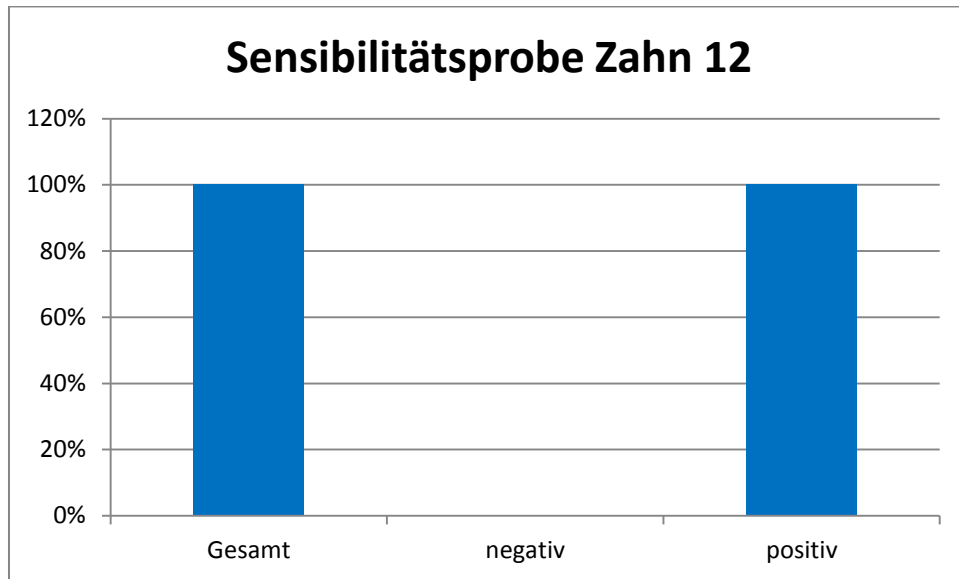


Abb. 9: Sensibilitätsproben an Zahn 12

Bei den Sensibilitätsproben des Zahnes 11 waren ebenfalls alle 39 (100%) der nachuntersuchten Zähne sensibilitätspositiv.

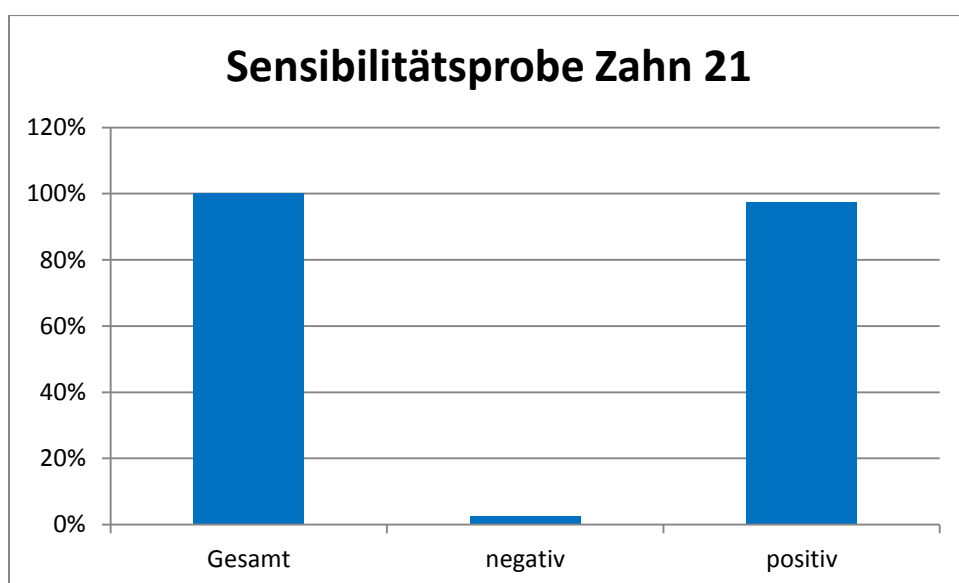


Abb. 10: Sensibilitätsproben an Zahn 21

Hier trat bei der Nachuntersuchung ein nicht sensibel reagierender Zahn auf. Dies sind 0,3% des gesamten Patientenpools, allerdings 2,5% des nachuntersuchten Patientenpools, bezogen auf den Zahn 21.

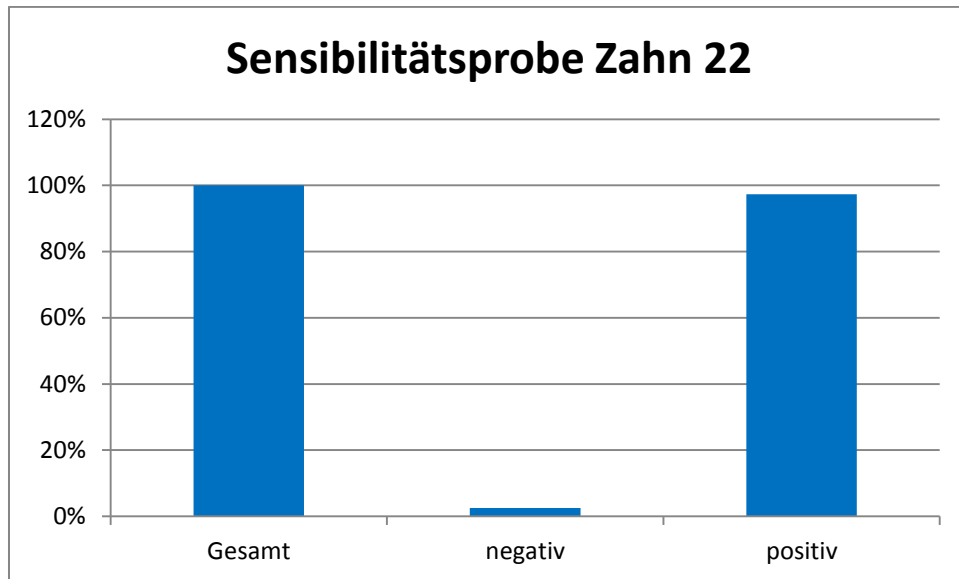


Abb. 11: Sensibilitätsproben an Zahn 22

Hier ist ein dritter Patient mit Sensibilitätsverlust bei der Nachuntersuchung dokumentiert. Durch zwei ersetzte Zähne regio 22 treten hier nur insgesamt 37 auf Sensibilität getestete Zähne, anstatt 39 zu testender Zähne, in Erscheinung.

Zahn 23 zeigte keine Auffälligkeiten bezüglich Sensibilitätsverlusts.

Sondierungstiefen

Die mittels Parodontometer erhobenen Messwerte sind in folgender Übersichtsgrafik dargestellt.

Bis auf gering erhöhte Sondierungstiefen, die sich mit schlechter Mundhygiene erklären ließen und erhöhten Taschentiefen an zwei Implantaten (Implantate Regio 13 und 23) waren hier allerdings keine Auffälligkeiten erkennbar und die Sondierungstiefen im physiologischen Bereich.

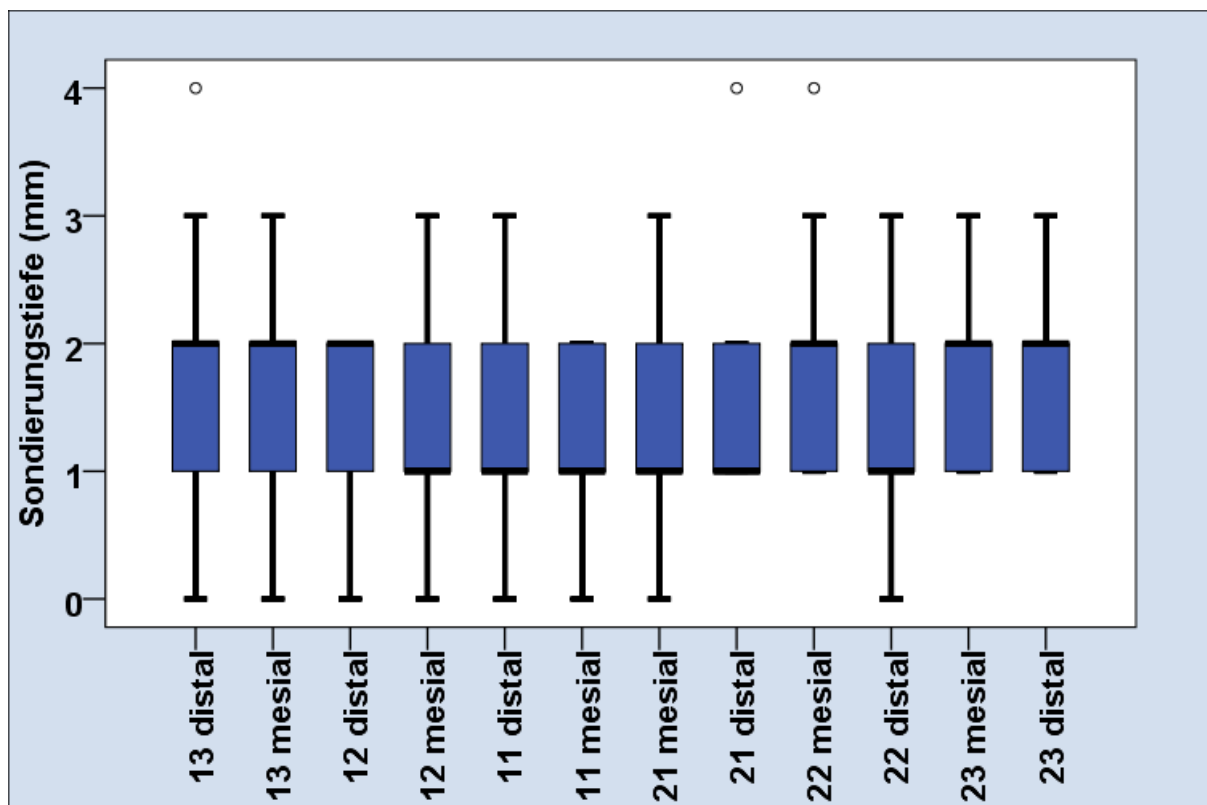


Abb. 12: Übersichtsgrafik Sondierungstiefen
Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum, Maximum und Perzentile sind dargestellt

Attachmentverlust

Ebenso wie bei den Sondierungstiefen ergab das Messen des Verlustes parodontalen Attachments keine nennenswerten Auffälligkeiten. Knochenabbau an 2 Implantaten Regio 13 und 23 wurde hier nicht näher nachuntersucht. Der leichte Knochenabbau an den Implantaten war bei entzündungsfreier Gingiva zu beobachten und lag im Bereich von 1 mm.

Traumata

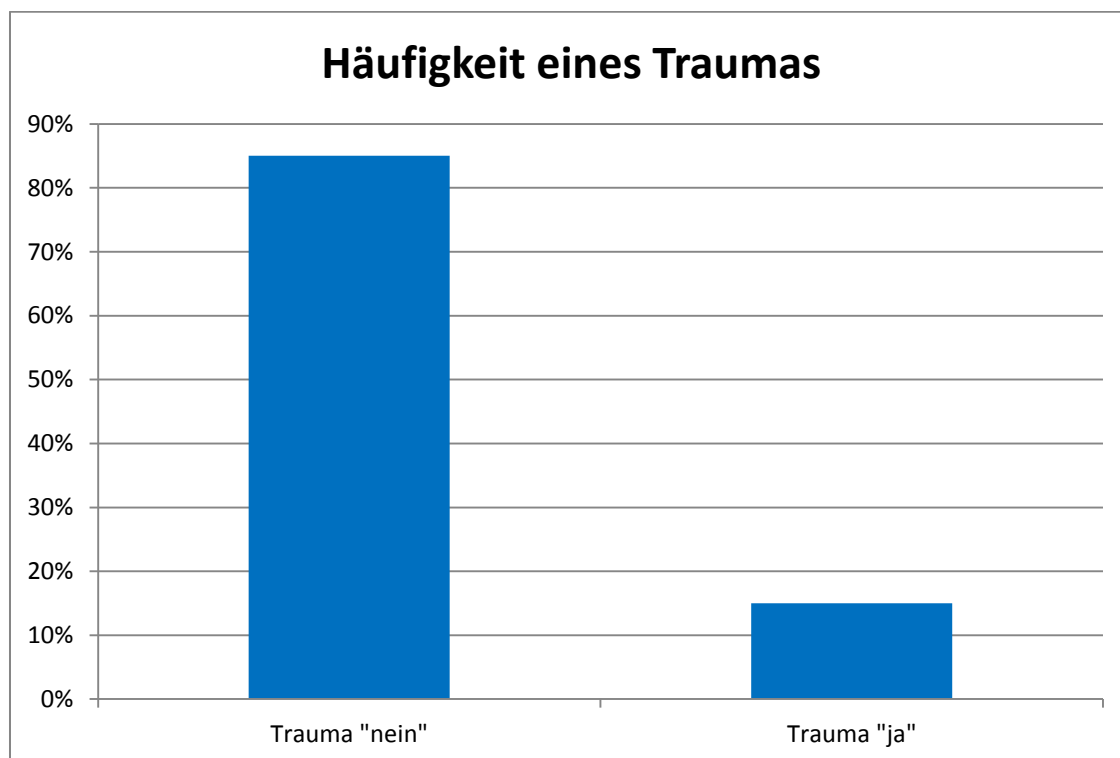


Abb. 13: Prozentuale Häufigkeit von Traumata

Sechs Patienten, entsprechend 15 % der nachuntersuchten 39 Patienten, berichteten über ein Trauma mit Zahnbeteiligung in der Vergangenheit.

Bei den Patienten mit Sensibilitätsverlust trat nur in einem Fall ein Trauma auf. Vor der Pinsinsertion war aber auch bei diesem Patienten keine negative Vitalität zu beobachten.

Narbenbildung

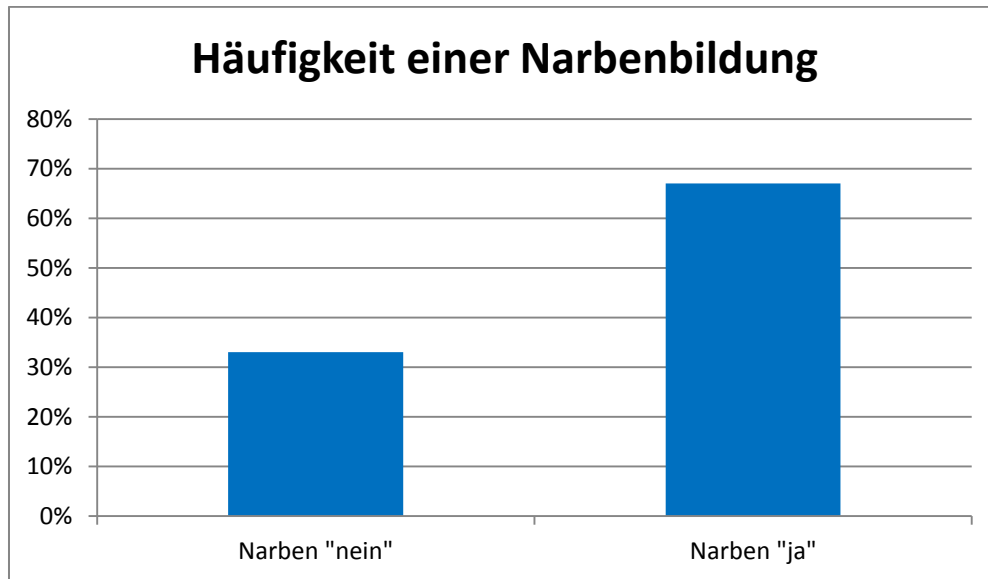


Abb. 14: Prozentuale Häufigkeit von Narbenbildungen

Insgesamt bildeten 67% (26 Patienten) der nachuntersuchten 39 Patienten sichtbare Narben im Bereich der Pininsertionsareale des anterioren Gaumens aus.

Periapikale Chirurgie

Alle Patienten konnten bei Ihrer Befragung periapikal durchgeführte Eingriffe eindeutig ausschließen. Narbenbildungen im Vestibulum waren ebenfalls nicht festzustellen.

Lockerungsgrade

Lockerungsgrade größer I waren bei keinem der nachuntersuchten Patienten zu beobachten.

Röntgenologische Schlusswertung bezüglich einer röntgenologisch sichtbaren Wurzelverletzung nach Minischraubeninsertion

Folgende Grafik zeigt, ob auf den Abschluss-Röntgenbildern (OPG/FRS) eine Verletzung der Zahnwurzel sichtbar ist oder ob resorptive Vorgänge darauf hindeuten. Bei 72,8% der Patienten war die Behandlung bereits abgeschlossen und ein Röntgenbild nach Schraubenentnahme vorhanden. Bei den übrigen Patienten war kein Röntgenbild nach Schraubenentfernung, aus Gründen wie Abbruch oder noch laufender Therapie, vorhanden.

Auf allen ausgewerteten Röntgenbildern, die vor dem debonding der festsitzenden Apparatur, beziehungsweise vor Explantation der Minischrauben angefertigt wurden, konnten röntgenmorphologisch Wurzelverletzungen oder apikal-resorptive Vorgänge eindeutig ausgeschlossen werden.

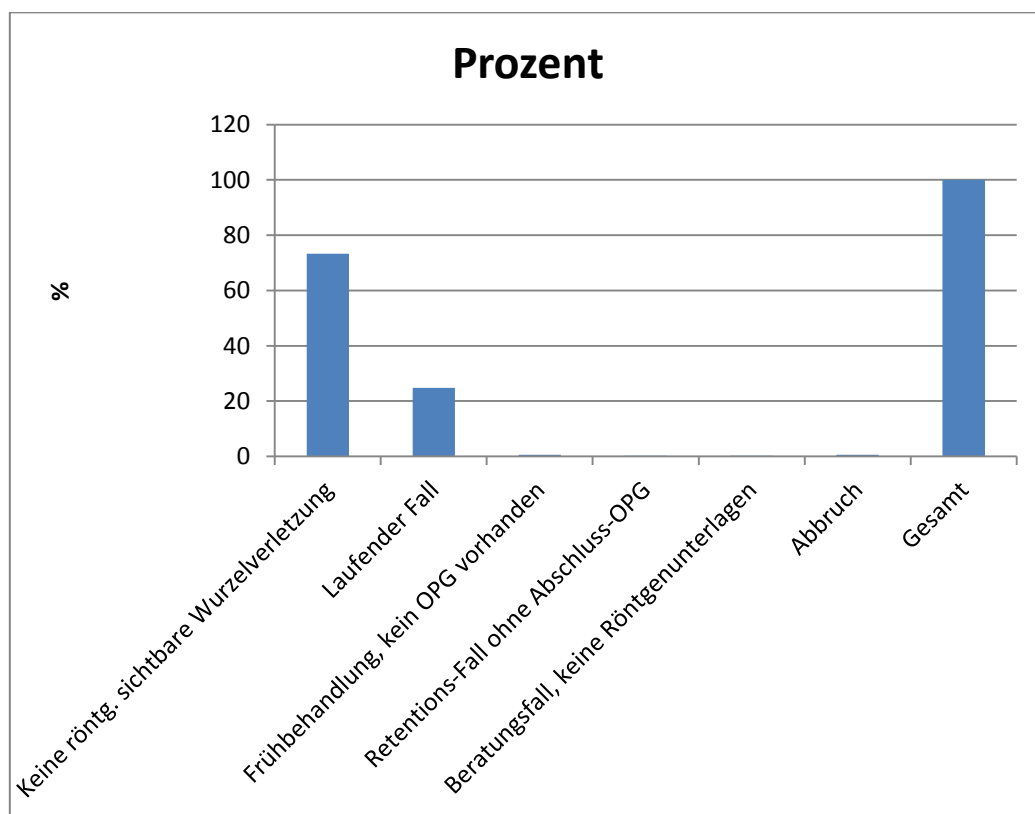


Abb. 15: OPG -Schlussauswertung bzgl. röntgenologisch sichtbarer Wurzelverletzung und / oder resorptiver Geschehen

Keine röntgenologisch-sichtbare Wurzelverletzung	73,3%	234 Patienten
Laufender Fall	24,8%	79 Patienten
Frühbehandlung, keine Röntgenaufnahmen	0,6%	2 Patienten
Retentions-Fall ohne Abschluss-Röntgenbilder	0,3%	1 Patient
Beratungsfall, keine Röntgenunterlagen	0,3%	1 Patient
Abbruch	0,6%	2 Patienten
Gesamt	100%	319 Patienten

Tab.2: Prozentuale Verteilung und Anzahl der behandelten Patienten bezüglich des Orthopantomogramms zum Zeitpunkt T2

Eigenschaften der Patienten mit Sensibilitätsverlust

Geschlecht	weiblich	weiblich	weiblich
Alter bei Nachuntersuchung	31	17	16
IOK/NL	99,2°	98,5°	110,5°
Gaumenfaltenpaar der Insertion	2	2	2 und 3
Vitalitätsverlust an Zahn (FDI-Notation)	13	22	21
Schraubentyp	Ortho Easy	Ortho Easy	Ortho Easy
Schraubenlänge	L=8mm	L=6mm	L=8mm
Schraubendurchmesser	Ø=1,7mm	Ø=1,7mm	Ø=1,7mm
Trauma	Ja	nein	nein
Röntg. sichtbare Wurzelverletzung	Nein	nein	nein
Narben	Ja	ja	ja
Lockerungsgrade	0	0	0
Apparatur	Pal. Bügel	Frosch-App.	Pal. Bügel

Tab. 3: Eigenschaften der Behandlungsfälle mit aufgetretenem Sensibilitätsverlust

Die Tabelle zeigt die Patienten mit dokumentiertem Sensibilitätsverlust nach Minischraubeninsertion.

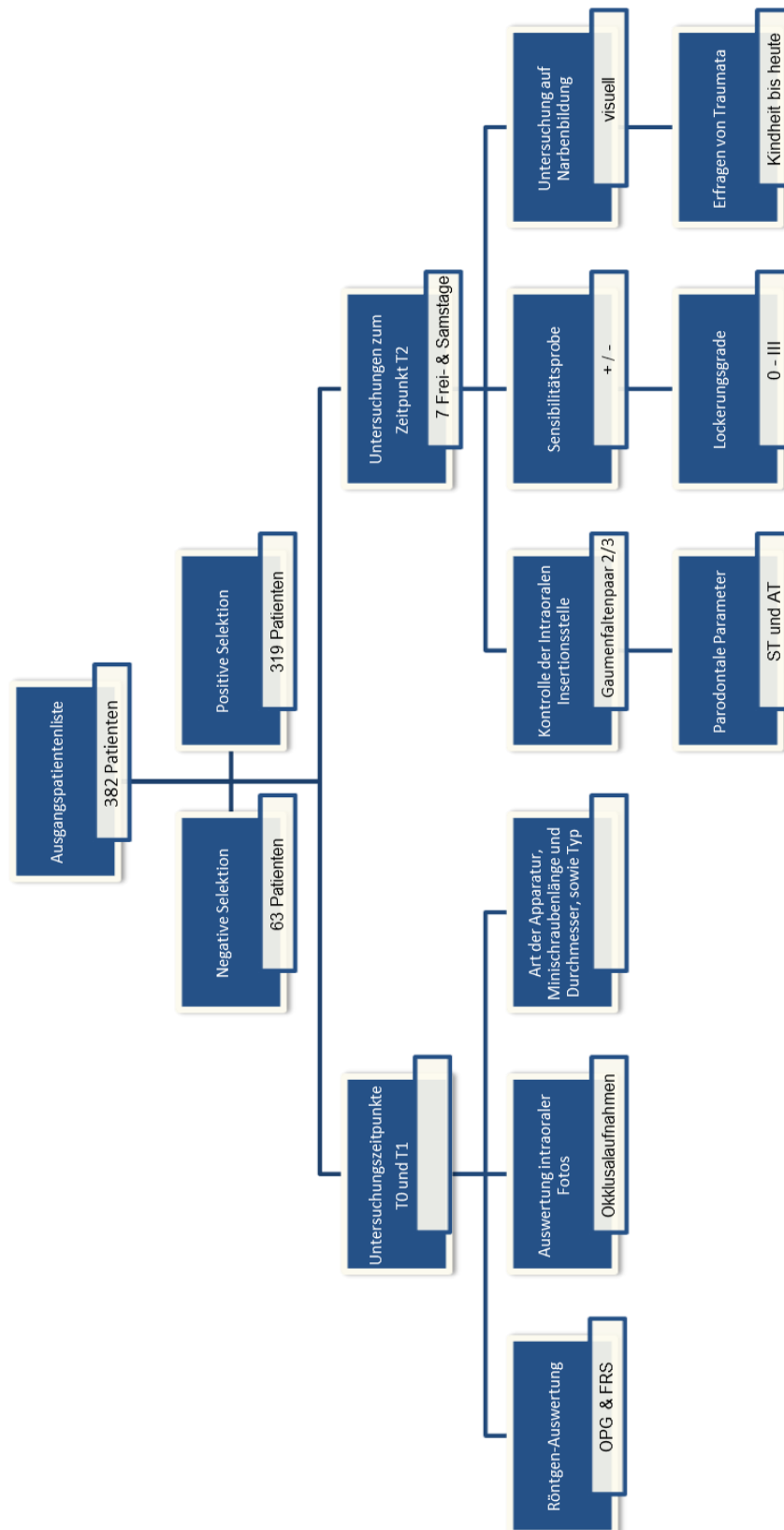
Alle Patienten waren weiblich. Die Insertionsorte waren zweimal das zweite Gaumenfaltenpaar. Bei einer Patientin wurde neben einer Schraube im dritten Gaumenfaltenpaar eine zweite Minischraube im zweiten Gaumenfaltenpaar inseriert.

Die gemessenen IOK/NL-Winkel, Norm $112,5^\circ \pm 3^\circ$, lagen bei zwei negativen Fällen unterhalb des Norm-Wertes ($98,5^\circ$ und $99,2^\circ$). Dies entspricht einer Retroinklination der Inzisivi von 14° und $13,3^\circ$. Ein Fall mit $110,5^\circ$ lag im Toleranzbereich (Orthoinklination). Die Schraubenlängen bewegten sich im Bereich von 6-8 mm. Alle verwendeten Minischrauben bei Patienten mit Sensibilitätsverlust waren Schrauben der Firma Forestadent (Ortho Easy). Ein Trauma trat bei einem der drei Patienten auf. Röntgenologisch sichtbare Wurzelverletzungen waren bei keinem Patienten festzustellen. Das Fernröntgenseitenbild einer Patientin mit Sensibilitätsverlust nach Minischraubeninsertion zeigt Abbildung 16. Bei der Minischraubeninsertion befanden sich zwei Patienten in der Wechselgebissphase. Ein Patient befand sich in permanenter Dentition.



Abb. 16: FRS, Patient mit Sensibilitätsverlust an Zahn 22 nach Minischraubeninsertion

Studiendesign



Das Diagramm soll an dieser Stelle den zeitlichen und inhaltlichen Studienablauf nochmals verdeutlichen und zusammenfassen. Beginnend mit einer Patientenliste von 382 Patienten und der anschließenden Selektion. Es folgen aufgeschlüsselt in die Untersuchungszeitpunkte T0 / T1 und T2 das inhaltliche Vorgehen zum Zusammentragen der Fakten für diese Studie.

Diskussion

In der anfangs formulierten Nullhypothese heißt es, dass es das Ziel dieser Longitudinalstudie sei nachzuweisen, dass die Insertion von Minischrauben im anterioren Gaumen keine Auswirkung auf die Sensibilität und Vitalität der oberen 6 Frontzähne haben.

Als überholte Kältetests gelten Tests mit Ethylchlorid und Eis [42, 43], hingegen haben sich andere Kältetestes wie CO₂-Schnee und Kältesprays, die mit Dichlorodifluormethanen arbeiten, aber als effektiv erwiesen [21]. Die Kältesprays erreichen eine minimale Temperatur von -50° C, der CO₂-Schnee eine minimale Temperatur von -78° C [44]. Die Verwendung von CO₂-Schnee wurde kritisch bewertet, da Schmelzsprünge, verursacht durch die extreme Kälte, vermutet wurden [45]. Diese Bedenken wurden in Folgestudien in vitro [46], an Hunden [47] und an Menschen [48] widerlegt.

Neben der Kältetestung ist die Wärmetestung möglich. Warmes Guttapercha direkt auf den Zahn appliziert [29], sowie der Einsatz (mittels Flamme oder elektrischer Quelle) erhitzter Instrumente, sind in der Literatur dokumentiert [49].

Zusätzlich zu den thermalen Methoden ist die Sensibilitätsprüfung durch EPT(electric pulp testing) möglich [50]. Hier wird mittels Elektrostimulation ein Aktionspotential erzeugt, welches vom Patienten, akzessorisch zu seiner persönlichen Reizschwelle, registriert wird [51].

Untersucht wurden allerdings nur Sensibilitäten und nicht die Vitalität der Zähne 13 bis 23. Die Sensibilitätstestung erfolgte lediglich mittels Kältetestung (Omnicent Kältespray 200ml (REF Nr. 75816, Omnicent Dental-Handelsgesellschaft mbH Rodgau/Nieder-Roden) und Omnicent Schaumstoffpellets Ø 5mm (REF Nr. 56689)) und nicht mittels anderer Verfahren.

Ein eingetretener Sensibilitätsverlust könnte bei noch angeschlossenem Gefäß-Nervenbündel denkbar sein. Dies wäre allerdings nur per Überprüfung der Vitalität durch Ultraschall-Doppler [52] oder Laser Doppler [53] sicher nachweisbar.

Was gegen eine Vitalität bei eingetretenem Sensibilitätsverlust der 3 aufgetretenen Sensibilitätsverluste sprach, war das Auftreten von apikalen Symptomaten, welche in allen 3 Fällen zur Therapie durch Wurzelkanalbehandlung führten [54]. Bei noch angeschlossenem Gefäßnetz wären keine Symptome, bis auf den Verlust sensibler Reaktion, aufgetreten.

Im zeitlichen Zusammenhang erscheinen Traumata hier als Ursache für einen Vitalitätsverlust unwahrscheinlich. Ein Patient mit Vitalitätsverlust berichtete von einem Trauma in der Kindheit. Da aus der Traumatologie bekannt ist, dass auch viele Jahre nach dentalen Traumata Vitalitätsverluste auftreten können [55, 56], muss dieser Umstand zumindest mit in Betracht gezogen werden. Die zeitliche Nähe zwischen Pininsertion und Therapie des Zahnes durch Wurzelkanalbehandlung, sowie die vorherige Symptomlosigkeit und der bereits oben erwähnte große zeitliche Abstand zum Trauma lässt die Eventualität dieses Umstands jedoch gering erscheinen.

Parodontale Schädigungen wurden mittels parodontaler Parameter (Sondierungstiefen- und Attachmentverlust-Messungen) untersucht. Alle erhobenen Werte bezüglich Sondierungstiefen, Attachmentverlusten und Lockerungsgraden waren bis auf einige wenige Stellen, die eindeutig auf schlechte Mundhygiene zurückzuführen waren (lokale Plaqueakkumulation), im physiologischen Bereich.

Orale Nachuntersuchungen und röntgenologische Auswertungen schlossen auch kariöse Läsionen als mögliche Ursache für einen Vitalitätsverlust aus.

Die röntgenologische Untersuchung diente auch zum Ausschließen einer bereits durchgeführten Wurzelkanalbehandlung. Verifiziert wurde dies, im Falle von nicht röntgen-opakem Material, bei der Abfüllung des Kanallumens, auch durch klinische Befundung der Zahnhartsubstanz (mit plastischem Füllmaterial verschlossenen Trepanationsöffnungen).

Die kephalometrische Analyse ergab bei der Auswertung des IOK/NL-Winkels einen Peak im Histogramm zwischen 105° und $112,5^\circ$. Entsprechend des Normwinkels von $112,5^\circ \pm 3^\circ$ lag die Majorität des im retrospektiv ausgewerteten Patientenpools also im Normbereich mit einer leichten Tendenz zu einer Winkelverkleinerung, also eines Steilstandes. Zwei der drei Patienten mit Sensibilitätsverlust lagen mit einem IOK/NL-Winkel von $99,2^\circ$ und $98,5^\circ$ deutlich unter dem Normwert für den IOK/NL-Winkel. Eine Grundüberlegung wäre, dass eine Winkelveränderung den apikalen Bereich in einen für einen Vitalitätsverlust gefährlichen Bereich bringt und so eine Devitalisation durch Verletzung der apikalen Gefäß-Nervenstraße entstehen müsste.

Um dies zu verstehen, bejahen oder verneinen zu können, müssen die arteriellen Gefäßverläufe erörtert werden.

Arteriell werden die Oberkiefer-Frontzähne durch die Arteria alveolaris superior anterior versorgt, als Ast der Arteria infraorbitalis [57]. Von der A. alveolaris superior anterior gehen dann wiederum Rr. dentalis und Rr. peridentalis ab [58]. Die Abzweigungen der arteriellen Äste während des Verlaufs im Canalis infraorbitalis versorgen die Oberkiefer Frontzähne. Eine Verletzung dieser Gefäße und damit einer Devitalisierung sollte aufgrund anatomischer Gegebenheiten nur durch eine Insertion der Minischrauben in einer zu weit anterior gelegenen Gaumenfaltenpaarung in Kombination mit einer Anteinklination der oberen Front möglich sein. Ein Steilstand der oberen Front scheint allerdings bei genauerer Betrachtung als Ursächlichkeit für einen Vitalitätsverlust nicht wahrscheinlich.

Eine durchgeführte röntgenologische Schlussauswertung diene zum radiologischen Ausschluss einer durch die inserierten Minischrauben verursachten Wurzelverletzung.

Bei keinem der 319 Patienten, also auch bei keinem der 3 Patienten mit Sensibilitätsverlust, war eine Verletzung der Zahnhartsubstanz nach Minischraubeninsertion erkennbar. Allerdings muss man hier berücksichtigen, dass die durchgeführten Röntgenaufnahmen lediglich zweidimensionale Orthopantomogramme und zweidimensionale Fernröntgenseitenbilder waren.

Bei einem Patient ist unmittelbar nach Pininsertion und Vitalitätsverlust an Zahn 22 ein FRS vorhanden, was in dem zweidimensionalen Bild einen Kontakt mit der Zahnhartsubstanz an Zahn 22 ausschließt. Allerdings schließt ein Röntgenbild keine Verletzung der apikalen Gefäß-Nerven-Straße aus (unzureichende Weichgewebstdarstellung [59] und die geringe Vergrößerung [60]).

Zwei der 3 Patienten mit Vitalitätsverlust waren bei der Pininsertion erst elf beziehungsweise zwölf Jahre alt. Posteruptiv endet das Wurzelwachstum bei permanenten Zähnen 3-4 Jahre nachdem der Zahn durchgebrochen ist [61].

Schopf definierte fünf Entwicklungsstufen. Stufe 1 endet mit der vollständigen Mineralisation der Zahnkrone. Stufe 2 ist definiert als Mineralisation von 1/3 der zu

erwartenden Wurzellänge. Stufe 3 ist bei der Mineralisation von der Hälfte der Wurzellänge erreicht. Stufe 4 beschreibt das Ende des Wurzellängenwachstums, bei noch geöffnetem Apex. Bei Stufe 5 ist neben dem abgeschlossenen Wurzelwachstum der Apex geschlossen [62].

Der Vitalitätsverlust trat nach Minischraubeninsertion bei der elfjährigen Patientin an Zahn 22, bei der zwölfjährigen Patientin an Zahn 21 auf. Die beiden mittleren oberen Inzisivi brechen mit 7-8 Jahren durch [63]. Demzufolge war bei Pininsertion und Vitalitätsverlust das Wurzelwachstum bereits abgeschlossen oder annähernd abgeschlossen. Es befanden sich also die Patienten in der späten Stufe 4 oder bereits in Stufe 5. Die dritte Patientin mit Vitalitätsverlust war bei Pininsertion bereits 37 Jahre alt. Demzufolge war auch hier das Wurzelwachstum abgeschlossen. Eine Mutmaßung oder Schlussfolgerung von Vorteilen einer möglichen Regenerativität bei noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum ist an dieser Stelle deshalb nicht möglich.

Von den anfänglich 319 Patienten konnten nur 39 Patienten (12,2%) nachuntersucht werden. Diese Tatsache beeinflusst in nicht unangemessenem Maße die Aussagekraft dieser Studie und verlangt nach Korrektur beziehungsweise Bestätigung durch weitere Studien. Bei 85,9% der nachuntersuchten Patienten wurden Minischrauben im empfohlenen dritten Gaumenfaltenpaar inseriert. Bei den drei Patienten mit Sensibilitätsverlust wurden die Minischrauben nicht oder nicht ausschließlich im dritten Gaumenfaltenpaar inseriert. Der in der Literatur empfohlene Insertionsbereich der Region des dritten Gaumenfaltenpaares [64] konnte also bei allen Vitalitätsverlusten nicht eingehalten werden.

In den Ergebnissen zeigt sich, dass alle Frontzähne betroffen sein können. Nicht ausschließlich seitliche Schneidezähne oder Eckzähne sind betroffen. Es trat neben einem avitalen Zahn 13 und 22 auch ein devitaler Zahn 21 auf.

Bezogen auf Narbenbildungen ist aus der Dermatologie bekannt, dass Narben den Endzustand einer Wundheilung darstellen. Das ursprüngliche Gewebe wird hier also durch Fibrose in ein nur dem Wundverschluss dienliches Ersatzgewebe überführt [65]. Primäre Wundheilung (*sanatio per primam intentionem* [66]) endet fast immer in

einem narbenfreien Zustand, während sekundäre Wundheilung (*sanatio per secundam intentionem* [66]) meist in einer Narbenbildung endet [67]. Kriterien zu finden, die eine Narbenbildung sicher ausschließen oder vorhersagbar machen, waren nicht zu belegen. Aufgetretene Narben waren aufgrund der anamnestischen Befragung eindeutig nicht auf periapikale Eingriffe zurückzuführen.

Zur stabilen Einbringung von Minischrauben ist als wichtiger Parameter das Knochenangebot mit entscheidend [68]. Nach computertomografischen Studien liegt es im Bereich des anterioren Gaumens durchschnittlich bei > 8,5 mm vertikaler Knochenhöhe [69].

Wurzelfreie Areale wie Arcus zygomaticus und Tuberosita maxillae bieten, wie auch der anteriore Gaumen, scheinbare Vorteile durch ihre Entfernung zu den Zahnwurzeln [70]. Nachteilig ist bei dem Arcus zygomaticus die mögliche Perforation in den Sinus maxillaris und bei der Tuberosita maxillae die mögliche Verletzung impakterter Weisheitszähne [70]. Der vordere Gaumen schien vor Beginn dieser Studie ein sicheres Insertionsareal zu sein. Vorteil ist hier, dass das dritte Gaumenfaltenpaar als reproduzierbare Weichteilstruktur gleichzeitig einen stabilen anatomischen Referenzpunkt bei der Insertion darstellt [33]. Die Notwendigkeit der Orientierung an anderen unverrückbaren anatomische Referenzstrukturen, wie dem klinisch nicht sichtbaren Foramen incisivum, entfällt [9].

Bei der Insertion kann prinzipiell kann zwischen einer Insertion in der Sutura [10] und einer Insertion neben der Sutura, das heißt paramedian [10], unterschieden werden. Bilaterale Insertion soll dazu dienen, dass möglichst gleiche Kräfte beiderseits wirken und es hierdurch beispielsweise zu einer raschen, symmetrischen Erweiterung des Oberkiefers kommt [38, 71]. Die Entscheidung pro oder contra intrasutural oder paramedian wird zuletzt auch durch die geplante Apparatur bestimmt. Ein Beispiel für bilaterale Verankerung ist die Hybrid-Gaumennahterweiterungsapparatur [72].

Da bei medianer Insertion von Minischrauben in der Sutura palatina mediana transversale Wachstumsbeeinträchtigungen im Tierversuch nicht eindeutig ausgeschlossen werden [73] konnten, wurde hiervon bei der Einbringung Abstand genommen.

Trotz der Insertion in diesem scheinbar sicheren Bereich erlitten 3 Patienten einen Sensibilitätsverlust. Dies entspricht auf diese gering nachuntersuchte Patientenzahl einer Komplikationsrate von 7,7% und auf die Anzahl der Zähne (39 Patienten mit insgesamt 227 Zähnen, 5 fehlenden Zähnen und 2 Implantaten) immer noch eine prozentuale Misserfolgsrate bei negativen Vitalitätsproben von 1,3%.

Aus dem pharmakologischen Repertoire an Definitionen, die Nebenwirkungen beschreiben, sind Begriffe wie „sehr häufig“, „häufig“, „gelegentlich“ und „selten“ usw. bekannt. Sehr häufig bedeutet >10%, häufig <10%, gelegentlich 1-0,1% und selten 0,1-0,01% [74]. Das bedeutet auf die nachuntersuchten Patienten einen Sensibilitätsverlust im Bereich von „häufig“, auf die Zähne heruntergerechnet zwar im unteren Bereich mit 1,3 %, aber immer noch häufig, allerdings sollte hier das geringe Studienkollektiv sicher mit berücksichtigt werden, und man muss an dieser Stelle gegebenenfalls relativierend intervenieren. Da sich bis auf 3 Patienten alle 319 Patienten während den Nachuntersuchungen in der Retentionsphase unauffällig verhielten, muss hier von einer deutlich geringeren Komplikationsrate ausgegangen werden, die sicherlich beinahe im Promille-Bereich anzusiedeln ist. Allerdings bleibt es an dieser Stelle bei reiner Spekulation.

Ungeachtet des direkten Wurzelkontakts oder Verletzung der apikalen Gefäß-Nervenstraße, wäre es prinzipiell denkbar, dass zytotoxische Bestandteile, welche aus den Minischrauben freigesetzt worden sein könnten, zum Sensibilitätsverlust der betroffenen Zähne geführt haben könnten.

Die Ergebnisse einer Studie hierzu lassen diesen Umstand aber eher als unwahrscheinlich erscheinen. Hier wurden verschiedene Minischrauben bezüglich ihrer Biokompatibilität untersucht. Die Schrauben zeigten nach 72-stündiger Inkubationszeit in humanen Zellkulturen minimale Herabsetzungen der Zellvitalität, die aber aufgrund ihres geringen Ausmaßes nicht als relevant angesehen werden können. Die Studienergebnisse lassen Unterschiede in der Biokompatibilität kieferorthopädischer Minischrauben vermuten, doch aufgrund der sehr geringen Abweichungen zu den Negativkontrollen war keines der getesteten Produkte als zytotoxisch zu bezeichnen [75].

Unvermeidliche Maßnahmen, wie kieferorthopädische Zahnintrusionen [76, 77], sowie das Entfernen von Kunststoff und Bondingmaterial inklusive Politur beim Debonding [78], können einen Einfluss auf die Sensibilität beziehungsweise Vitalität haben. Durch rotierendes Entfernen und Polieren der Zähne kann es zu einer kritischen Erhöhung der intrapulpalen Temperatur kommen. Zach und Cohen berichteten, dass Erhöhungen um 5,50 °C in der Pulpa in 40% der Untersuchungen eine irreversibel-entzündliche Reaktion herbeiführten. Bei einer Erhöhung der intrapulpalen Temperatur um 11 °C kam es ausnahmslos zur Pulpanekrose [79]. Gänzlich auszuschließen ist dieser Umstand sicher auch in dieser Studie nicht, durch die verwendete suffiziente Spraykühlung von 60ml/min allerdings unwahrscheinlich.

Um einen Misserfolg gegebenenfalls einem System zuzuschreiben zu können, wurden die verschiedenen Schraubensysteme prozentual erfasst. Das am häufigsten verwendete System war der OrthoEasy® Pin (Forestadent, Pforzheim).

Dieses orthodontische Implantatsystem besitzt einen länglichen Körper mit Gewinde zur Verankerung im Kieferknochen und einen zweiten Abschnitt, der aus dem Kieferknochen herausragt [80]. Da es mit fast 95% Anteil der verwendeten Systeme zur Anwendung kam, war es nicht unerwartet, dass alle negativen Ausgänge auch durch dieses System hervorgerufen wurden, ohne dass es in einem erhöhten Maß gegenüber anderen Systemen hierfür verantwortlich sein muss.

Die Zytotoxizität des Systems und direkte Verletzung (Abschluss Röntgen-Auswertung) erscheinen also bereits als Ursachen für einen Vitalitätsverlust unwahrscheinlich, aber auf Grund des bereits oben erwähnten 2D-Röntgens sicher nicht gänzlich ausschließbar. Die Tatsache, dass ein Vitalitätsverlust bei einer Pin-Länge von 6mm resultierte, macht auch die Schraubenlänge als Parameter für die Devitalisation allein unwahrscheinlich. Bei der Minischraubenlänge wird von den Herstellern gefordert, dass der Abschnitt der Minischraube, der sich im Knochen befindet, mindestens so groß sein muss wie der Teil, der sich außerhalb befindet (Verhältnis des enossalen Anteils zu extraossärem Anteil 1:1). Aufgrund der mindestgeforderten äquivalenten Längen ergibt sich hieraus die Länge der Minischraube [46] (durchschnittliche Schraubenlänge von 7,93 mm im gesamten Patientenkollektiv). Die Länge scheint jedoch nicht allein ausschlaggebend für einen

Vitalitätsverlust zu sein, da auch bei 6 mm Minischraubenlänge (kürzest verwendete Länge) eine Devitalisation stattfand.

Der Schraubendurchmesser, bei allen negativen Vitalitätsproben gleich, verursachte bei allen anderen Patienten keinen negativen Ausgang und scheint deshalb auch nicht explizit zu einem Vitalitätsverlust beizutragen (durchschnittliche Schraubendurchmesser von 1,71 mm im gesamten Patientenkollektiv).

Er et al. [81] berichteten über eine durchgeführte Wurzelkanalbehandlung nach periradikulärer Läsion, verursacht durch unbeabsichtigte Wurzelverletzung aufgrund einer Minischraube, die im anterioren Gaumen inseriert wurde. In dem beschriebenen Fall wurde die Minischraube zwischen lateralem Schneidezahn und Eckzahn inseriert (Schraubenlänge 10 mm). Symptome traten in diesem Fall allerdings früh, nach 2,5 Monaten, auf. Bei den betroffenen Patienten unserer Studie traten die Symptome im Gegensatz relativ spät, das heißt in der Retentionsphase, auf.

Fraglich ist, ob eine sicherere Insertion von Pins mit Bohrschablonen im Bereich des dritten Gaumenfaltenpaars hätte erreicht werden können. Eine Bohrschablone optimiert die Stelle der Implantatinserterion, den Winkel der Implantatposition in anterior-posteriorer Richtung und die Insertionstiefe [82]. Weiterhin minimiert sie das Risiko von Wurzelverletzungen und hilft dem Behandler die radiologischen Informationen der präoperativen Planung auf den Patienten zu übertragen [83]. Hätten also durch die Verwendung von Bohrschablonen Devitalisierungen vermieden werden können?

Die Frage muss an dieser Stelle offen bleiben, da eine Referenzstudie hierzu nicht vorliegt. Was eine Bohrschablone allerdings leistet, ist bei allen Insertionen auch ohne diese gelungen, nämlich das Nichtbeschädigen anatomisch, röntgenologisch sichtbarer Strukturen (im 2D-Röntgenbild).

Insgesamt ist festzuhalten, dass unsere Studie erstmals den Zusammenhang des Verlustes sensibler Reaktionsfähigkeit eines Zahnes, respektive Vitalitätsverlust, verursacht durch Minischrauben, evaluiert hat.

Aufgrund der hier gewählten Untersuchungsperiode konnten Latenzzeiten in der Entwicklung endodontischer Komplikationen berücksichtigt werden. Dennoch muss man annehmen, dass weitere Studien mit verfeinerten Studiendesigns auf diesem Gebiet nötig sind.

Schlussfolgerung

Eine Frage, die an dieser Stelle leider unbeantwortet bleibt, ist die nach absoluter Sicherheit bei der Insertion von compliance-unabhängiger Verankerungsmöglichkeiten (durch Minischrauben) in der Kieferorthopädie.

- Auch wenn sich radiografisch ein Zusammenhang zwischen Sensibilitätsverlust, respektive Vitalitätsverlust, durch direkte Wurzelperforation durch die Minischrauben nicht zweifelsfrei belegen ließ, konnte die Insertionsposition der Minischrauben – unabhängig davon, ob im Wechsel- oder permanenten Gebiss behandelt wurde – als statistisch relevanter Faktor identifiziert werden
- Die Inklination der oberen Schneidezähne schien keinen ungünstigen Einfluss zu haben
- Bei allen drei betroffenen Patienten wurden die Minischrauben im Bereich des zweiten Gaumenfaltenpaares inseriert. Es kann daher angenommen werden, dass eine mehr posteriore Position zu bevorzugen ist

Literatur

1. Van der Linden, F., [*Headgear therapy in combination with other simple appliances*]. Rev Belge Med Dent, 1974. **29**(3): p. 366-70.
2. Bellincioni, P.L., [*The Delaire mask*]. Prog Odontoiatr, 1991. **4**(5): p. 16-24.
3. Gabriel, H.F., *Motivation of the headgear patient*. Angle Orthod, 1968. **38**(2): p. 129-35.
4. Gray, J.B., et al., *Studies on the efficacy of implants as orthodontic anchorage*. Am J Orthod, 1983. **83**(4): p. 311-7.
5. Gainsforth, B.L. and L.B. Higley, *A study of orthodontic anchorage possibility in basal bone*. Am J Orthod Oral Surg, 1945. **31**: p. 406-417.
6. Creekmore, T.D. and M.K. Eklund, *The possibility of skeletal anchorage*. J Clin Orthod, 1983. **17**(4): p. 266-9.
7. Papadopoulos, M.A. and F. Tarawneh, *The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: a comprehensive review*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007. **103**(5): p. e6-15.
8. Mah, J. and F. Bergstrand, *Temporary anchorage devices: a status report*. J Clin Orthod, 2005. **39**(3): p. 132-6; discussion 136; quiz 153.
9. Ryu, J.H., et al., *Palatal bone thickness compared with cone-beam computed tomography in adolescents and adults for mini-implant placement*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2012. **142**(2): p. 207-12.
10. Bernhart, T., et al., *Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant*. Clin Oral Implants Res, 2000. **11**(6): p. 595-601.
11. Jayakumar, G., et al., *Quantitative assessment of palatal bone thickness in an ethnic Indian population: a computed tomography study*. Indian J Dent Res, 2012. **23**(1): p. 49-52.
12. King, K.S., et al., *Predictive factors of vertical bone depth in the paramedian palate of adolescents*. Angle Orthod, 2006. **76**(5): p. 745-51.
13. Gracco, A., et al., *Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008. **134**(3): p. 361-9.
14. Lee, J.S., et al., *The efficient use of midpalatal miniscrew implants*. Angle Orthod, 2004. **74**(5): p. 711-4.
15. Kim, H.J., et al., *Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. **130**(2): p. 177-82.

16. Müller-Hartwich, R., T. Präger, and J.-A. Park, *Kieferorthopädische Verankerung mit Minischrauben - Auswahl geeigneter Insertionsorte und Mechaniken*. Kieferorthop, 2006. **20**(3): p. 195-202.
17. Kim, J.S., et al., *Comparison of success rates of orthodontic mini-screws by the insertion method*. Vol. 42. 2012. 242-8.
18. Martin, C., *The orthodontic mini-implant clinical handbook*. Br Dent J, 2013. **215**(6): p. 310-310.
19. Farac, R.V., et al., *Pulp sensibility test in elderly patients*. Gerodontology, 2012. **29**(2): p. 135-9.
20. Chen, E. and P.V. Abbott, *Evaluation of accuracy, reliability, and repeatability of five dental pulp tests*. J Endod, 2011. **37**(12): p. 1619-23.
21. Jones, V.R., E.M. Rivera, and R.E. Walton, *Comparison of carbon dioxide versus refrigerant spray to determine pulpal responsiveness*. J Endod, 2002. **28**(7): p. 531-3.
22. Pileggi, R., T.C. Dumsha, and N.R. Myslinksi, *The reliability of electric pulp test after concussion injury*. Endod Dent Traumatol, 1996. **12**(1): p. 16-9.
23. Johnson, J.V. and E.C. Hinds, *Evaluation of teeth vitality after subapical osteotomy*. J Oral Surg, 1969. **27**(4): p. 256-7.
24. Andreasen, J.O., et al., *Dental Trauma Guide: a source of evidence-based treatment guidelines for dental trauma*. Dent Traumatol, 2012. **28**(5): p. 345-50.
25. Simon, J.H., D.H. Glick, and A.L. Frank, *The relationship of endodontic-periodontic lesions*. J Periodontol, 1972. **43**(4): p. 202-8.
26. Hellwig, E., J. Klimek, and T. Attin, *Einführung in die Zahnerhaltung*. 2007: Elsevier, Urban und Fischer.
27. Lehmann, K.M., E. Hellwig, and H.J. Wenz, *Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde ; mit 34 Tabellen*. 2009: Dt. Zahnärzte-Verlag.
28. Düker, J., *Praxisleitfaden zahnärztliche Radiologie*. 2006: Elsevier, Urban & Fischer.
29. Rowe, A.H. and T.R. Pitt Ford, *The assessment of pulpal vitality*. Int Endod J, 1990. **23**(2): p. 77-83.
30. Nishimura, S., et al., *Risk factors to cause tooth formation anomalies in chemotherapy of paediatric cancers*. Eur J Cancer Care (Engl), 2013. **22**(3): p. 353-60.
31. Ranta, R., *A review of tooth formation in children with cleft lip/palate*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1986. **90**(1): p. 11-8.
32. Eckles, T.A. and K.L. Kalkwarf, *Impaired tooth root development after treatment of a cerebellar astrocytoma: a case report*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1989. **68**(4): p. 414-8.

33. Christou, P. and S. Kiliaridis, *Vertical growth-related changes in the positions of palatal rugae and maxillary incisors*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008. **133**(1): p. 81-6.
34. Miller, S.C., *Textbook of Periodontia: Oral Medicine*. 1950: Blakiston.
35. Page, R.C. and K.S. Kornman, *The pathogenesis of human periodontitis: an introduction*. Periodontology 2000, 1997. **14**(1): p. 9-11.
36. Ludwig, B., et al., *The skeletal frog appliance for maxillary molar distalization*. J Clin Orthod, 2011. **45**(2): p. 77-84; quiz 91.
37. Wilmes, B., et al., *Palatally anchored maxillary molar mesialization using the Mesialslider*. Vol. 47. 2013. 172-9.
38. Ludwig, B., et al., *Forcierte Gaumennahterweiterung mit skelettalem Kraftansatz: Die Hybrid-GNE*. Kieferorthop, 2009. **23**(4): p. 267-274.
39. Späth, D., *Veränderung der Zahnstellung durch den Transpalatinalbogen nach Goshgarian und Cetlin*. 2004: Ludwig-Maximilians Universität München.
40. Wilmes, B., G. Olthoff, and D. Drescher, *Comparison of skeletal and conventional anchorage methods in conjunction with pre-operative decompensation of a skeletal class III malocclusion*. J Orofac Orthop, 2009. **70**(4): p. 297-305.
41. psm, *BENEFIT*. KFO. 2012.
42. Davies, A.L. and A. Rawlinson, *A comparison between two electric vitality testers and ethyl chloride with special reference to a newly available device*. Int Endod J, 1988. **21**(5): p. 320-6.
43. Dachi, S.F., J.V. Haley, and J.E. Sanders, *Standardization of a test for dental sensitivity to cold*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1967. **24**(5): p. 687-92.
44. Miller, S.O., et al., *Cold testing through full-coverage restorations*. J Endod, 2004. **30**(10): p. 695-700.
45. Lutz, F., W. Mormann, and T. Lutz, *[Enamel cracks caused by vitality tests with carbon dioxide snow]*. SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd, 1974. **84**(7): p. 709-25.
46. Peters, D.D., C.L. Mader, and J.C. Donnelly, *Evaluation of the effects of carbon dioxide used as a pulpal test. 3. In vivo effect on human enamel*. J Endod, 1986. **12**(1): p. 13-20.
47. Ingram, T.A. and D.D. Peters, *Evaluation of the effects of carbon dioxide used as a pulpal test. Part 2. In vivo effect on canine enamel and pulpal tissues*. J Endod, 1983. **9**(7): p. 296-303.
48. Peters, D.D., et al., *Evaluation of the effects of carbon dioxide used as a pulpal test. 1. In vitro effect on human enamel*. J Endod, 1983. **9**(6): p. 219-27.

49. Bender, I.B., *Reversible and irreversible painful pulpitis: diagnosis and treatment*. Aust Endod J, 2000. **26**(1): p. 10-4.
50. Mejare, I.A., et al., *Estimates of sensitivity and specificity of electric pulp testing depend on pulp disease spectrum. A modelling study*. Int Endod J, 2014.
51. Mumford, J.M., *Thermal and electrical stimulation of teeth in the diagnosis of pulpal and periapical disease*. Proc R Soc Med, 1967. **60**(2): p. 197-200.
52. Cho, Y.W. and S.H. Park, *Use of ultrasound Doppler to determine tooth vitality in a discolored tooth after traumatic injury: its prospects and limitations*. Restor Dent Endod, 2014. **39**(1): p. 68-73.
53. Roeykens, H. and R. De Moor, *The use of laser Doppler flowmetry in paediatric dentistry*. Eur Arch Paediatr Dent, 2011. **12**(2): p. 85-9.
54. Peter, F.D. and K.B. Sophy, *Review of the Dental Trauma Guide; an interactive guide to evidence-based trauma management*. Evidence-Based Dentistry, 2011. **12**(4): p. 117-120.
55. Abbott, P.V. and J.C. Salgado, *Strategies to minimise the consequences of trauma to the teeth*. Oral Health Dent Manag, 2014. **13**(2): p. 229-42.
56. Bakland, L.K., *Dental Trauma Guidelines*. Journal of Endodontics, 2013. **39**(3, Supplement): p. S6-S8.
57. Standring, S., *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 2008: Churchill Livingstone/Elsevier.
58. Fritsch, H., et al., *Taschenatlas der Anatomie: Innere Organe / Helga Fritsch ; Wolfgang Kühnel*. 2001: Thieme.
59. Angerstein, W., S. Gursky, and H. Hegewald, *Grundlagen der Strahlenphysik und radiologischen Technik in der Medizin*. 1987: Thieme.
60. Kahl-Nieke, B., *Einführung in die Kieferorthopädie: Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie*. 2010: Dt. Zahnärzte-Verlag.
61. Körperich, E.J. and H.J. Maiwald, *Grundlagen der Kinderzahnheilkunde*. 2003: Spitta-Verlag.
62. Schopf, P.M., *Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiss Eine Studie an Panorama-Röntgenbildern*. Fortschritte der Kieferorthopädie, 1970. **31**(1): p. 39-56.
63. Akcicek, S.J., *Zahndurchbruchzeiten der bleibenden Dentition bei Jungen und Mädchen der Stadt Straßburg*. 2008.
64. Ludwig, B., B. Glasl, and K. Walde, *Miniscrews in the Anterior Palate*. Orthodontic Products, 2011(9): p. 91-94.
65. Widgerow, A.D. and L.A. Chait, *Scar Management Practice and Science: A Comprehensive Approach to Controlling Scar Tissue and Avoiding Hypertrophic Scarring*. Vol. 24. 2011. 555-561.

66. Kujath, P. and A. Michelsen, *Wunden – von der Physiologie zum Verband*. Dtsch Arztebl International, 2009. **1**(1): p. -10-.
67. Abramovitch, R., et al., *Verbesserung der wundheilung mit cm101/gbs-toxin*. 2004, Google Patents.
68. Kang, S., et al., *Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007. **131**(4 Suppl): p. S74-S81.
69. Baumgaertel, S., *Quantitative investigation of palatal bone depth and cortical bone thickness for mini-implant placement in adults*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009. **136**(1): p. 104-8.
70. Ludwig, B., et al., *Anatomical guidelines for miniscrew insertion: palatal sites*. J Clin Orthod, 2011. **45**(8): p. 433-41; quiz 467.
71. Ludwig, B., et al., *Application of a new viscoelastic finite element method model and analysis of miniscrew-supported hybrid hyrax treatment*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2013. **143**(3): p. 426-35.
72. Ludwig, B., et al., *Miniscrew-supported Class III treatment with the Hybrid RPE Advancer*. J Clin Orthod, 2010. **44**(9): p. 533-9; quiz 561.
73. Asscherickx, K., H. Wehrbein, and M.M. Sabzevar. *[O] Palatal implants in adolescents: A histological evaluation in beagle dogs*. in *EOS - Vortrag*. 2007. Berlin.
74. Weber, E. and P.R. Bieck, *Taschenbuch der unerwünschten Arzneiwirkungen: ein Nachschlagewerk für die tägliche Praxis*. 1983: Fischer.
75. Finke, H., *Biokompatibilität von Kieferorthopädischen Minischrauben: Eine In-Vitro-Studie an humanen Gingivafibroblasten und der etablierten Osteoblastenzelllinie Saos-2*, in *Medizinischen Faku*. 2013, Christian-Albrechts-Universität: Kiel. p. 61.
76. Veberiene, R., et al., *Change in dental pulp parameters in response to different modes of orthodontic force application*. Angle Orthod, 2010. **80**(6): p. 1018-22.
77. Veberiene, R., et al., *Effects of intrusive force on selected determinants of pulp vitality*. Angle Orthod, 2009. **79**(6): p. 1114-8.
78. Uysal, T., et al., *Thermal changes in the pulp chamber during different adhesive clean-up procedures*. Angle Orthod, 2005. **75**(2): p. 220-5.
79. Zach, L. and G. Cohen, *PULP RESPONSE TO EXTERNALLY APPLIED HEAT*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1965. **19**: p. 515-30.
80. Förster, R. and B. Ludwig, *Orthodontisches Implantatsystem*. 2006: Deutschland. p. 6
81. Er, K., M. Bayram, and T. Tasdemir, *Root canal treatment of a periradicular lesion caused by unintentional root damage after*

- orthodontic miniscrew placement: a case report.* Int Endod J, 2011. **44**(12): p. 1170-5.
82. Al-Suleiman, M. and M. Shehadah, *AUSOM: A 3D Placement Guide For Orthodontic Mini-Implants.* Orthodontics (Chic.), 2011. **12**(1): p. 28-37.
83. Suzuki, E.Y. and B. Suzuki, *A simple three-dimensional guide for safe miniscrew placement.* J Clin Orthod, 2007. **41**(6): p. 342-6.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Insertionsrichtung der Minischraube Abbildung mit freundlicher Genehmigung Prof. Dr. med. dent. Sebastian Baumgärtel, D.M.D., M.S.D.FRCD (C), Cleveland, Ohio, USA

Abb. 2: Schematische Darstellung des IOK/NL-Winkels

Abb. 3: Histogramm zur Häufigkeit der aufgetretenen IOK/NL[°]

Abb. 4: Prozentuale Verteilung der Insertionsorte der Minischrauben

Abb. 5: Prozentuale Verteilung der verwendeten Minischrauben

Abb. 6: Häufigkeit der verwendeten Apparaturen in absoluten Zahlen

Abb. 7: Darstellung des Antwortverhaltens auf das postalische Anschreiben

Abb. 8: Sensibilitätsproben an Zahn 13

Abb. 9: Sensibilitätsproben an Zahn 12

Abb. 10: Sensibilitätsproben an Zahn 21

Abb. 11: Sensibilitätsproben an Zahn 22

Abb. 12: Übersichtsgrafik Sondierungstiefen

Abb. 13: Prozentuale Häufigkeit von Traumata

Abb. 14: Prozentuale Häufigkeit von Narbenbildungen

Abb. 15: OPG -Schlussauswertung bzgl. Röntgenologisch sichtbarer

Wurzelverletzung und / oder resorptiver Geschehen

Abb. 16: FRS, Patient mit Sensibilitätsverlust an Zahn 22 nach

Minischraubeninsertion

Tabellenverzeichnis

Tab.1: Häufigkeit der verwendeten Apparaturen in absoluten Zahlen

Tab.2: Prozentuale Verteilung und Anzahl der behandelten Fälle bezüglich des
Abschluss Orthopantomogramms

Tab.3: Eigenschaften der Behandlungsfälle mit aufgetretenem Sensibilitätsverlust

Publikation und Dank

Publikation

Buchbesprechung „Zahnärztliche Radiologie“, Andreas Fuhrmann, ISBN 978-3-13-165341-3, erschienen in „**Kieferorthopädie - Die Zeitschrift für die Praxis 3/14**“

Danksagung

Besonderer Dank gilt Dr. Björn Ludwig und Dr. Jan Hourfar, die mich bei dieser Arbeit betreuten, sowie der gesamten Praxis Dr. Ludwig und Dr. Glasl, welche mir das Studienkollektiv zur Verfügung stellten und mich tatkräftig bei Recherchearbeiten mit Raum und Zeit unterstützten.

Ebenso danken möchte ich den Patienten, die sich zur Nachuntersuchung zur Verfügung stellten.

Weiterhin danken möchte ich Prof. Dr. Jörg Lisson für die finale Unterstützung.

Weiterer Dank gilt Prof. Dr. Sebastian Baumgärtel (Cleveland, Ohio, USA) für die Zurverfügungstellung der Abb. 3: Insertionsrichtung der Minischraube.