

Universitätsklinikum Ulm
Department für Zahnheilkunde
Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. dent. B. Haller

**Klinische Follow-up-Studie zur Prävalenz vertikaler Wurzelfrakturen bei
wurzelkanalgefüllten Molaren**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin der Medizinischen Fakultät der
Universität Ulm

Maximilian Benedikt Wagner
Landshut

2014

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Bernd Haller

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Peter Gierschik

Tag der Promotion: 19.11.2015

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung und Problemstellung	1
1.1 Wachsende Bedeutung der Zahnerhaltung durch endodontische Maßnahmen	1
1.2 Phasen der Wurzelkanalbehandlung	2
1.3 Prognose und mögliche Misserfolge von Wurzelkanalbehandlungen	9
1.4 Vertikale Wurzelfrakturen als Spätkomplikation von Wurzelkanalbehandlungen	10
1.5 Häufigkeit und Altersverteilung vertikaler Wurzelfrakturen	18
1.6 Prognose und Therapie vertikaler Wurzelfrakturen	19
1.7 Problemstellung	21
2 Patientengut und Methoden	23
2.1 Erstellung des Erhebungsbogens	23
2.2 Rekrutierung der Studienteilnehmenden und Terminvergabe	29
2.3 Ablauf der Untersuchungen und Datenerhebung	34
2.4 Datenerfassung und Statistik	36
2.5 Antrag an die Ethikkommission	37
3 Ergebnisse	38
3.1 Allgemeines	38
3.2 Diagnose der vertikalen Wurzelfrakturen	39
3.3 Zusammensetzung und Charakterisierung des Studienkollektivs (Individuen, Zähne)	41
3.4 Auswertung der durchgeführten Behandlungsmaßnahmen	47
3.5 Auswertung der Röntgenaufnahmen	55
3.6 Auswertung der klinischen Untersuchung	70

Inhaltsverzeichnis

4 Diskussion	84
4.1 Diskussion der Methode	84
4.2 Diskussion der Ergebnisse	89
4.3 Schlussfolgerung	114
5 Zusammenfassung	115
6 Literaturverzeichnis	117
Anhang	
Patienteneinladung / Patienteninformation	131
Erhebungsbogen	135
Auswertung Teil 1	140
Auswertung Teil 2	141
Auswertung Teil 3	143
Auswertung Teil 4	145
Danksagung	148
Lebenslauf	149

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
chron.	chronisch
Ex.	Extraktion
max. / Max.	maximal / Maximalwert
min. /Min.	mininal / Minimalwert
mod	mesial-okklusal-distal
MW	Mittelwert
OK	Oberkiefer
PA	Parodontitis
Pat	Patienten
PSI	Parodontaler Scening Index
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
Trep	Trepanation
UK	Unterkiefer
Vit.	Vitalität
VRF	Vertikale Wurzelfraktur (vertical root fracture)
WF	Wurzelkanalfüllung
WK	Wurzelkanalaufbereitung

1 Einleitung und Problemstellung

1.1 Wachsende Bedeutung der Zahnerhaltung durch endodontische Maßnahmen

Die Endodontie kann als derjenige Zweig der zahnärztlichen Wissenschaft bezeichnet werden, der sich mit Form, Funktion und Gesundheit der Pulpa und der periradikulären Gewebe befasst. Ist als Folge einer irreversiblen Entzündung der Pulpa, beziehungsweise einer Pulpanekrose, eine endodontische Therapie nötig, zielt die Behandlung vor allem auf die Vermeidung der periradikulären Infektion und daraus resultierender Folgeerkrankungen ab. Dies geschieht in der Regel über eine Wurzelkanalbehandlung [154], die eine gründliche chemo-mechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems, eine dichte Wurzelkanalfüllung, sowie eine bakteriendichte postendodontische Restauration umfasst.

Laut Angaben der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung nimmt die Endodontie einen immer größer werdenden Anteil an den abgerechneten zahnärztlichen Leistungen ein, während die Anzahl an Extraktionen kontinuierlich sinkt. Waren im Jahr 1991 noch 16,2 Mio. Extraktionen zu verzeichnen, so sank dieser Wert im Jahr 2010 auf nur noch 13,2 Mio., was einer Reduktion von rund 20% entspricht. Bei den Wurzelkanalbehandlungen hingegen stellt sich eine gegenläufige Tendenz dar. Hier stieg in den Jahren von 1991 bis 2010 die Zahl der endodontisch behandelten Zähne von ursprünglich 6,9 Mio. auf 7,4 Mio. pro Jahr [66]. Ein Grund für diese Entwicklung scheint die Wachsamkeit sowohl von Zahnärzten, als auch von Patienten dafür zu sein, dass natürliche Zähne möglichst lange erhalten bleiben. So forderte bereits de Van 1952 [53], dass der Erhalt oraler Strukturen deren Ersatz vorzuziehen sei. In diesem Zusammenhang ist die Endodontie neben der Füllungstherapie und Parodontologie eine der wichtigsten Behandlungsmethoden für den Erhalt

1 Einleitung und Problemstellung

natürlicher Zähnen und gilt als Routinebehandlung in der Zahnerhaltung [35,152]. Im Vergleich zu einer Extraktion und Implantation, als Alternativtherapie, ist die Endodontie dabei die Behandlungsmethode deren Ziel eine Wiedergesundung, sowie ein Erhalt funktionstüchtiger Zähne und einer natürlichen Dentition ist [154].

1.2 Phasen der Wurzelkanalbehandlung

Bei der Wurzelkanalbehandlung werden die vollständige Entfernung des infizierten Gewebes, die Keimfreiheit des Wurzelkanalsystems, sowie die definierte Formgebung der Kanäle, als Grundlage einer dichten und wandständigen Wurzelkanalobturation, angestrebt [113].

1.2.1 Trepanation und endodontische Kavität

Vor Beginn der Trepanation und somit der Wurzelkanalbehandlung sollte immer eine diagnostische Röntgenaufnahme des Zahns vorliegen, um wichtige Informationen über die Anzahl und Morphologie der Zahnwurzeln zu erhalten [54]. Darauf folgt mit Hilfe von rotierenden Diamant- und Hartmetallinstrumenten die Trepanation und Präparation der Zugangskavität, die im günstigsten Fall direkt zu einer Eröffnung der Pulpakammer führt [56]. Entsprechend der Vorgabe, dass die komplette Wurzelkanalbehandlung unter Kofferdam erfolgt, sollte grundsätzlich auch für diesen Arbeitsschritt ein Kofferdam angelegt werden [11]. Bereits ein Fehler in diesem frühen Stadium der endodontischen Behandlung zieht eine Reihe von Schwierigkeiten nach sich. Die Kenntnis der Zahn- und Wurzelanatomie ist daher von großer Bedeutung [11], damit bei der Erstellung der Zugangskavität nicht unnötig viel Zahnhartsubstanz abgetragen wird. Dies ist besonders daher von Interesse, da bei jedem Zahntyp eine individuelle Zugangskavität angelegt werden muss [147]. Im Zuge der Trepanation muss zwar ein ausreichend großer und

1 Einleitung und Problemstellung

geradliniger Zugang zu den Wurzelkanälen geschaffen werden [54], dennoch ist darauf zu achten, dass wichtige Strukturen wie die Crista marginales möglichst erhalten bleiben um den Zahn wenig zu schwächen [56]. Zum Abschluss der Trepanation sollten mit einem Batt-Bohrer alle noch verbliebenen Überhänge entfernt werden [54]. Insgesamt ist der Verlust der mechanischen Festigkeit durch eine reine Trepanationsöffnung sehr gering, steigt jedoch auf rund 60% durch das Anlegen einer mesial-okklusal-distal-Kavität [98].

1.2.2 Wurzelkanalaufbereitung

Die Anforderungen an die Wurzelkanalpräparation sind in der Entfernung des vitalen und nekrotischen Gewebes, sowie in der Reduktion von Mikroorganismen zu sehen. Des Weiteren wird eine Situation herbeigeführt, die eine chemische Desinfektion ermöglicht und eine Wurzelkanalform geschaffen, die einen wandständigen, Wurzelkanalkanal füllenden und dichten Verschluss erlaubt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass nicht unnötig viel Zahnhartsubstanz abgetragen wird und auch der Verlauf des bestehenden Wurzelkanals so weit wie möglich unverändert bleibt [57].

Hierzu bestehen grundsätzlich die folgenden Methoden der Wurzelkanalpräparation: zum einen die manuelle Aufbereitung und zum andern die maschinelle Aufbereitung. Zusätzlich dazu werden auch Ultraschall- sowie nichtinstrumentelle kombiniert und Laser Techniken zum Aufbereiten der Wurzelkanäle genutzt [57]. Zu beachten ist dabei, dass die anatomische Form, sowie der Verlauf des Wurzelkanals bei der Wahl der Aufbereitungstechnik und der Auswahl der Instrumente berücksichtigt wird [126]. In einer Studie von Rao et al. [95] wird beschrieben, dass bei manueller Aufbereitung die verbleibende Dentindicke nach der Aufbereitung am stärksten war, verglichen mit verschiedenen maschinellen Systemen. Der Substanzabtrag unter den verschiedenen maschinellen Systemen war dabei

1 Einleitung und Problemstellung

sehr ähnlich, jedoch über dem der manuellen Aufbereitung. Ein Grund für den höheren Substanzabtrag maschineller Systeme stellt dabei deren Konizität dar. Diese liegt, abhängig vom jeweiligen System, zwischen zwei und zwölf Prozent [57]. Bereits diese starken Konizitäten bergen ein gewisses Risiko für vertikale Wurzelfrakturen (VRF) [8,137]. Da ein zu hoher Substanzabtrag zu einer VRF führen kann, sollten diese Tatsachen bei der Auswahl einer bestimmten Aufbereitungstechnik mit bedacht werden [95].

Zur Wurzelkanalaufbereitung gehört neben der rein mechanischen Bearbeitung des Wurzelkanals auch die chemische Bearbeitung mittels Spüllösungen. Dieser Schritt ist ein entscheidender Teil der Behandlung und trägt maßgeblich zur Reduktion von Mikroorganismen bei. Daher wird oft von der chemo-mechanischen Aufbereitung gesprochen [57]. Dabei ist zu beachten, dass bei einem stark kontaminierten Wurzelkanal die Wurzelkanalspülung im Hinblick auf die Häufigkeit und Intensität ausgeprägter durchzuführen ist. Auch ist das applizierte Volumen der Spülung wichtiger als deren Konzentration. Die Spülnadel sollte soweit in den Wurzelkanal eingeführt werden, dass auch die apikalen Teile des Wurzelkanalansystems erreicht werden. Dies ist insofern von Interesse, da die Spüllösung nur im direkten Umkreis der Spülnadelspitze wirkt [57].

Insgesamt sind die Ziele der Wurzelkanalspülung [57]:

- Beseitigung der Dentinspäne
- Desinfektion des endodontischen Systems
- Zersetzung des Kanalinhalt auch an Stellen, die mechanisch nicht zu erreichen sind
- Auflösung des Biofilms
- Neutralisation bakterieller Toxine
- Gleitmittel für Wurzelkanalinstrumente

1 Einleitung und Problemstellung

In Bezug auf die Materialeigenschaften sollen die verwendeten Spüllösungen die Dentinstruktur nicht verändern und über eine gute Gewebeverträglichkeit verfügen.

Hierzu wurde bei der Verwendung von Natriumhypochlorid (NaOCl) festgestellt, dass es die Mikrohärtigkeit, das E-Modul und auch die Biegefestigkeit des Dentins herabsetzt [57,76,77]. Somit kann die Verwendung hochprozentiger Natriumhypochloridlösungen einen Faktor bei der Entstehung von VRF darstellen.

1.2.3 Wurzelkanaldesinfektion

Wie in der gemeinsamen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde gefordert [38], sollen medikamentöse Wurzelkanaleinlagen eine desinfizierende Wirkung haben und einen bakteriendichten, temporären Verschluss des Wurzelkanalsystems zur Vermeidung einer Rekontamination bieten. Um dies zu leisten, werden biokompatible, desinfizierende Agenzien verwendet. Nach derzeit vorliegenden Daten sollte bei der Behandlung eines infizierten Wurzelkanals auf eine medikamentöse Einlage in der Regel nicht verzichtet werden. Demgegenüber kann aufgrund der Keimfreiheit bei der Vitalextraktion auf eine solche Einlage verzichtet werden [110]. Weitere wichtige Aufgaben der medikamentösen Einlage sollte die Vermeidung von Schmerzen, das Auflösen von im Wurzelkanal verbliebenem Gewebe, sowie die Beruhigung des periapikalen Gewebes sein [149]. Zu den am häufigsten verwendeten Medikamenten zählen dabei Phenole, hier insbesondere Chlorhexidin, Kalziumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) und Kortikoid-Antibiotika-Präparate [37,149]. Eine Besonderheit des Chlorhexidins liegt in seinem kationischen Zustand, der es an negativen Flächen innerhalb des Wurzelkanals haften lässt und somit eine Depotwirkung hervorruft [62]. Eine weitere Besonderheit liegt in der bakteriziden Wirkung sowohl gegen grampositive

1 Einleitung und Problemstellung

und in höheren Dosen auch gegen gramnegative Bakterien [50]. Chlorhexidin als 2%iges Gel wird dabei vor allem gegen den Ca(OH)_2 resistenten Keim *Enterococcus faecalis* eingesetzt [87], der sich im Zuge von sekundären und persistierenden endodontischen Infektionen finden lässt [117]. Besonders häufig und auch als Standardmedikament wird Ca(OH)_2 als medikamentöse Wurzelkanaleinlage verwendet. Nach Applikation in den Wurzelkanal führt dieses durch ein Abdissoziieren von Hydroxidionen zu einem schnellen Anstieg des pH-Werts bis auf einen pH-Wert von 8-9,5 innerhalb der ersten 3 Tage und dann langsamer bis auf pH-Werte von 10 und somit zu einer guten antibakteriellen Wirkung [29,144]. Zusätzlich zu diesem Effekt hat Ca(OH)_2 die Eigenschaft, verbliebenes Gewebe innerhalb des Wurzelkanals aufzulösen [127]. Ein etwas geringerer pH-Wert Anstieg kann sogar auf der Außenseite des Dentins nachgewiesen werden, was den Schluss zulässt, dass Hydroxidionen aus der Wurzelkanaleinlage durch das Dentin diffundieren [83]. Bereits seit längerem gibt es jedoch Hinweise, wonach der Gebrauch von Ca(OH)_2 in der Wurzelkanalbehandlung zu einer Schwächung des Dentins führt [105,155]. So beschreiben Rosenberg et al. [105] in ihrer Studie eine Schwächung des Dentins um 23-44% innerhalb von zwei Monaten nach Anwendung von Ca(OH)_2 und Andreasen et al. [4] eine deutliche Verringerung des Frakturwiderstands, um die Hälfte innerhalb eines Jahres, bei der Anwendung von Ca(OH)_2 in der Wurzelkanalbehandlung. Eine mögliche Ursache für diesen Effekt ergibt sich aus dem starken pH-Wert Anstieg, in dessen Folge es zu einer Veränderung in der Proteinstruktur des Dentins kommt [156]. Dieser Prozess kann zu einer Veränderung der Kollagenfasern führen und somit die mechanischen Eigenschaften des Dentins verändern [28].

1.2.4 Wurzelkanalfüllung

Bei der Wurzelkanalfüllung nach abgeschlossener chemo-mechanischer Aufbereitung haben die Wurzelkanalfüllmaterialien die Funktion, den

1 Einleitung und Problemstellung

entstandenen Hohlraum vollständig und dauerhaft flüssigkeits- und bakteriendicht zu verschließen, um die Besiedlung mit Mikroorganismen und die Diffusion bakterieller Toxine in das parodontale Ligament zu verhindern [111]. Um dies zu erreichen, müssen in der Regel zwei unterschiedliche Materialien verwendet werden. Zum Abdichten des Wurzelkanals wird, als weltweit gebräuchlichste Kombination, Guttapercha als Füllmaterial und eine Füllpaste in Form eines Sealers verwendet [131]. Der Grund liegt darin, dass ein dichter Verschluss des Wurzelkanals durch Guttapercha alleine nicht dauerhaft möglich ist [111], sodass eine Wurzelfüllpaste in Form eines Sealers als zusätzliches Hilfsmittel verwendet werden sollte [131]. Dem entsprechend besteht eine Wurzelkanalfüllung zum Hauptteil aus einem volumenstabilen Kernmaterial, in Form eines oder mehrerer Wurzelfüllstifte, die durch eine Wurzelfüllpaste ergänzt werden, die Inkongruenzen zwischen Wurzelkanalwand und dem Kernmaterial volumenstabil ausfüllt [111]. Seit fast 150 Jahren wird Guttapercha in der Zahnmedizin als provisorisches Füllungs- und Abdruckmaterial verwendet. Erst später wurde auch eine Verwendung als Material zur Wurzelfüllung beschrieben. Bedingt durch die gute Verarbeitbarkeit, Biokompatibilität und hohe klinische Erfolge gilt es weiterhin als das Füllmaterial [58], meist in Form von Wurzelkanalfüllstiften. Ergänzend zu Guttapercha kommen noch Metall- und Kunststoffstifte als Wurzelfüllstifte zum Einsatz. Als Wurzelfüllpasten stehen eine ganze Reihe verschiedener Produkte zur Verfügung, von denen vor allem Pasten auf Epoxidharz-Basis als empfehlenswert einzustufen sind [111]. Die Wurzelkanalfüllung an sich sollte möglichst nahe ans Foramen physiologicum heranreichen und kann mit mehreren Techniken ausgeführt werden. Man unterscheidet dabei hauptsächlich zwischen thermoplastischen Fülltechniken, bei denen die Guttapercha während eines der Arbeitsschritte erwärmt wird und Stifttechniken, bei denen die Guttapercha in Form von Stiften in kalter Form in den Wurzelkanal eingebracht wird [58]. Dabei gilt die laterale Kondensation von Guttapercha nach wie vor als Goldstandard aller

1 Einleitung und Problemstellung

Fülltechniken und wird in der täglichen Praxis am häufigsten eingesetzt [121]. Die Vorteile der lateralen Kondensation sind dabei die gute Längenkontrolle, sowie der dichte Verschluss des Wurzelkanals [58]. Demgegenüber gilt diese Technik als eher zeitaufwendig und wird von einer Vielzahl an Autoren als Ursache für die Entstehung vertikaler Wurzelfrakturen erachtet [25,33,69,124,132]. Vor diesem Hintergrund ist zu beachten, dass bereits eine Kraft von 15 Newton zu einer Fraktur eines unteren Schneidezahns führen kann [64]. Zusätzlich dazu werden Defekte innerhalb der Dentinstruktur, auch Defekte die noch zu keiner Wurzellängsfraktur führen, bei dieser Methode häufiger als bei anderen Methoden beobachtet [65].

1.2.5 Koronaler Verschluss und postendodontische Versorgung

Neben einer gewissenhaft und sorgfältig durchgeführten Wurzelkanalbehandlung bestimmt auch die postendodontische Versorgung über den Langzeiterfolg und die Zufriedenheit des Patienten. Somit sollte gerade auch die koronale Restauration als wesentlicher Bestandteil der kompletten endodontischen Maßnahme verstanden werden [85]. So konnten in diesem Zusammenhang Ray et al. [97] zeigen, dass eine Coronal Leakage dementsprechend eine Rekontamination des fertig behandelten Wurzelkanals, die Erfolgsrate einer Wurzelkanalfüllung von über 90% auf 44% sinken lässt. Um dem vorzubeugen, sollte somit nach der Wurzelkanalfüllung ein bakteriendichter adhäsiver Verschluss der koronalen Wurzelkanaleingänge erfolgen [146]. Bestätigt werden kann diese Aussage, wonach auch Heling et al. [49] in einer Literaturübersicht von 41 Artikeln feststellten, dass ein bakteriendichter Verschluss der Kanaleingänge schnellst möglich nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung, erfolgen sollte. Zur weiteren Vermeidung einer Coronal Leakage und auch zur Stabilisierung der verbliebenen Restzahnsubstanz sollte eine Rekonstruktion der verloren gegangenen Zahnhartsubstanz ebenfalls früh erfolgen [129]. Hierbei kann die

1 Einleitung und Problemstellung

höckerübergreifende Versorgung vor allem im Seitenzahnbereich eine signifikante Verbesserung der Erfolgsraten von wurzelkanalbehandelten Zähnen mit einem entsprechenden Substanzverlust herbeiführen [122]. Vor allem auch im Hinblick auf spätere Frakturen des wurzelkanalbehandelten Zahns verringert eine solche Versorgung das Risiko deutlich [5]. Verglichen mit nicht überkronten Zähnen konnte Vire [148] zeigen, dass überkronte Zähne eine deutlich bessere Überlebensrate aufweisen. Dennoch sollte die Entscheidung für eine höckerübergreifende Versorgung vor allem von der verloren gegangenen Zahnhartsubstanz abhängig gemacht werden. So weisen Zähne mit einem Verlust einer Randleiste bereits eine deutliche Schwächung ihrer Widerstandskraft auf. Dennoch sollte nicht jeder Zahn höckerübergreifend versorgt werden. Besonders bei Zähnen mit einer reinen Trepanationsöffnung, wodurch ein Stabilitätsverlust von nur 5% auftritt, kann häufig auf eine adhäsive Füllungstechnik zurück gegriffen werden [98,151].

1.3 Prognose und mögliche Misserfolge von Wurzelkanalbehandlungen

Die Erfolgsrate für endodontisch behandelte Zähne, mit dem damit verbundenen Verbleib der Zähne in situ, kann im Allgemeinen als sehr gut bezeichnet werden. Eine statistische Auswertung von mehreren, in der Literatur publizierten Beschreibungen aus einem Zeitraum zwischen 1997 und 2004, über die Langzeiterfolgsrate von Wurzelkanalbehandlungen mit insgesamt 3316 Zähnen ergab eine Erfolgsrate von 84,4% nach 5 Jahren und immerhin noch eine Erfolgsrate von 77,5% nach 10 Jahren. Modifiziert nach Schmalbruch [113] gibt Tabelle 1 einen genaueren Überblick über den Langzeiterfolg von Wurzelkanalbehandlungen wieder.

Tab. 1: Langzeiterfolg von Wurzelkanalbehandlungen

Autor	Jahr	Beobachtungszeitraum	Zähne	Überlebensrate
Rocke et al [103]	1997	10 Jahre	485	81%
Damascheke et al. [26]	2003	10 Jahre	190	85%
Stoll et al. [128]	2005	10 Jahre	914	74%
Fritz et al. [32]	1999	5 Jahre	504	84%
Alley et al. [2]	2004	5 Jahre	350	95%
Tilashalski [140]	2004	5 Jahre	873	81%

Leider wird jedoch auch nach optimaler Vorgehensweise und einer lege artis durchgeführten Wurzelkanalbehandlung das Therapieziel der Heilung oder Prävention einer apikalen Parodontitis nicht immer erreicht [55]. Als Ursache für einen solchen endodontischen Misserfolg kommt eine Reihe von Tatsachen in Betracht. Als wichtigste Gründe für den Misserfolg werden dabei immer wieder die persistierende oder rezidivierende Infektion des Wurzelkanalsystems und des umgebenden periradikulären Gewebes [91,118,139], unter anderem bedingt durch eine Coronal Leakage [108,151], technische Defizite in der Wurzelkanalbehandlung, Perforationen der Wurzelkanalwand aber auch häufig Wurzelfrakturen und hier im Besonderen vertikale Wurzelfrakturen genannt [34,55,61,151].

1.4 Vertikale Wurzelfrakturen als Spätkomplikation von Wurzelkanalbehandlungen

Vertikale Wurzelfrakturen stellen eine mögliche Komplikation in der zahnärztlichen Behandlung dar [133] und sind in den letzten Jahren von steigender Bedeutung [51]. Dennoch sind sie keine neue Erscheinung und wurden erstmals bereits im Jahr 1910 durch H.C. Register im Zusammenhang

1 Einleitung und Problemstellung

mit stiftverankerten Versorgungsmitteln erwähnt [99]. Die vertikale Wurzelfraktur ist definiert als eine längsorientierte Fraktur, welche die Zahnwurzel betrifft und Teile des Wurzelkanals mit einschließt [8,132]. Längsfrakturen können in ihrer Schwere variieren. Dabei können sie sich als minimaler Schmelzsprung, als eine reine Wurzellängsfraktur, oder bis hin zu einer vollen Kronen-Wurzelfraktur, ausdehnen [17]. Zudem sind sie in ihrem klinischen Erscheinungsbild sehr vielfältig [64]. Unabhängig davon verlaufen vertikale Wurzelfrakturen im Allgemeinen parallel zum Wurzelkanal [88] und führen in der Regel außergewöhnlich rasch zu einem ausgedehnten Verlust des parodontalen Attachments [10,74]. Die Hauptverlaufsrichtung ist vor allem bei Molaren in bucco-lingualer Orientierung [51,64,67,81,125]. Eine Fraktur der dünnen mesialen und distalen Wände liegt nur selten vor [88].

1.4.1 Ätiologie und Pathogenese vertikaler Wurzelfrakturen

Oftmals wurde angenommen, dass endodontisch behandelte Zähne aufgrund der Wurzelkanalbehandlung verspröden [48]. Diese Tatsache wurde jedoch von mehreren Autoren übereinstimmend als falsch bewiesen [40,98,114]. Auch eine irreversible Austrocknung des Dentins wurde mehrfach diskutiert [40,132]. Diese Behauptung konnte ebenfalls nicht aufrecht erhalten werden. So zeigten Papa et al. [89] in ihrer Studie an kontralateral extrahierten Zähnen, dass endodontisch behandelte Zähne, im Vergleich zu vitalen Zähnen, keinen signifikant unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt aufzeigen. Auch unterscheiden sich, entgegen der weit verbreiteten Ansicht, endodontisch behandelte Zähne und vitale Zähne nicht in Bezug auf die mechanische Festigkeit des Dentins [8,114]. Die Vermutungen, das Dentin wurzelkanalbehandelter Zähne sei weniger widerstandsfähig, als das Dentin vitaler Zähne, kann somit nicht aufrecht erhalten werden [23,40]. Dennoch gilt, dass wurzelkanalbehandelte Zähne eine geringere mechanische Belastbarkeit

1 Einleitung und Problemstellung

aufweisen als vitale Zähne, da sie durch den Materialabtrag während der endodontischen Behandlung durchaus geschwächt werden [23,59].

Die meisten Wurzelkanäle haben eine elliptische, in mesio-distaler Richtung schmale Form. Wird ein rundes Wurzelkanalinstrument in einen solchen Kanal eingebracht, kommt es in Folge der Klemmwirkung in schmalen Bereichen zu einer Krafteinwirkung in mesio-distaler Ausdehnung, deren Folge eine Fraktur in bucco-lingualer Richtung sein kann [88]. Dieser Befund deckt sich mit der Aussage mehrerer Autoren, die jeweils einen bucco-lingualen Frakturverlauf angeben, bei dem die Zähne nicht an der dünnsten Stelle frakturieren [33,51,81]. Die Begründung, warum dies so ist, kann darin liegen, dass sich Druck auf Wurzelkanalwände vor allem dort auswirkt, wo der Innenradius der Wurzel am kleinsten ist. Demnach brechen ovale Wurzeln bei der Anwendung von Kräften vor allem in bucco-lingualer Richtung [67].

Vertikale Wurzelfrakturen sind dennoch kein rein endodontisches Problem und wurden demnach sowohl bei vitalen, als auch bei wurzelkanalbehandelten Zähnen beschrieben.

1.4.1.1 Wurzelfrakturen an vitalen Zähnen

Vertikale Wurzelfrakturen (VRF) treten überwiegend an Wurzelkanal behandelten Zähnen auf [101]. Dennoch ist es falsch anzunehmen, dass nur exzessiv restaurierte oder endodontisch behandelte Zähne VRF aufweisen [52]. Bei Frakturen vitaler Zähne handelt es sich jedoch meistens um eine Ausbreitung von Mikrorissen, die als Kroneninfraktur oder Dentinal Crack bezeichnet werden [18] und sich unter ungünstigen Bedingungen zu einer VRF entwickeln können [115]. Die genauen Gründe, weshalb VRF an vitalen Zähnen vorkommen, sind jedoch nicht bekannt. Verschiedene Autoren nehmen an, dass es sich um Ermüdungsbrüche der Zahnhartsubstanz aufgrund eines

1 Einleitung und Problemstellung

wiederholten Einwirkens exzessiver Kaukräfte handelt [158,159]. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass vor allem Patienten mit parafunktionalen Habbits, wie schweren Formen von Bruxismus oder starken traumatischen Kaukräften, VRF aufweisen [21,86,120]. Diese Frakturen entstehen meist coronal und verlaufen in eine mesio-distale Richtung [52]. Ein okklusales Trauma durch einen Unfall, ist ein weiterer wichtiger Grund, in der Entstehung [25]. Viele natürliche prädisponierende Faktoren für die Entstehung vertikaler Frakturen, wie eine enge Höcker-Fissurenbeziehung, eine scharfe Interkuspitation und Bruxismus, können jedoch nur unzureichend durch den Zahnarzt beseitigt werden [42,92].

In diesem Zusammenhang fanden Chan et al. in einer Fallbeschreibung an 64 nicht endodontisch behandelten, vertikal frakturierten Zähnen, dass es allein durch pathophysiologisches Kauen und Bruxismus zu den Frakturen gekommen ist [20].

1.4.1.2 Wurzelfrakturen an endodontisch behandelten Zähnen

Mit sieben von zehn Frakturen [36] betrifft der überwiegende Teil vertikaler Wurzelfrakturen endodontisch behandelte Zähne [25]. Eine mögliche Ursache für das häufige Auftreten vertikaler Wurzelfrakturen bei wurzelkanalgefüllten Zähnen ist die Entstehung von Blind Cracks während der Behandlung [1]. Diese, im Zahninneren beginnenden Risse, reichen häufig nicht bis zum Parodontalspalt. Sie sind daher klinisch und histologisch zumeist unauffällig [51] und können nach der Präparation der Wurzelkanäle auftreten. Zudem scheint eine enge Relation zur Weite der Wurzelkanalaufbereitung zu bestehen [157]. Solche Blind Cracks können sich in Folge der auf den Zahn einwirkenden Kräfte sogar erst Jahre später zu einer vollständige Fraktur entwickeln [27]. Aber auch die Wurzelkanalbehandlung an sich stellt eine Gefahr für die Entstehung von VRF dar. So wird die Entstehung einer VRF als überwiegend

1 Einleitung und Problemstellung

iatrogen verursacht bezeichnet [25,33,133]. Im Detail betrifft dies sowohl die Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelfüllung, mit lateraler oder vertikaler Kondensation, als auch das Zementieren von Wurzelstiften [33,64]. Dabei steht fest, dass eine zu starke Aufbereitung und somit ein zu großer Verlust an Zahnhartsubstanz im Bereich der Zahnwurzel, die Entstehung einer VRF begünstigt [21]. Auch die Wurzelkanalfüllung, als abschließender Schritt der endodontischen Behandlung, wird immer wieder mit VRF in Verbindung gebracht. Hier wird vor allem die Abfüllmethode der lateralen Kondensation wiederholt als ursächlich für VRF angesehen [33,92,134]. Dennoch geben diverse Autoren zu bedenken, dass die Wurzelkanalfüllung in Form der lateralen Kondensation von Guttapercha nicht als alleinige Ursache einer VRF in Betracht kommt [69,109]. Somit lässt sich letztlich zusammenfassen, dass die wichtigsten prädisponierenden Faktoren für die Entstehung einer VRF bei endodontisch behandelten Zähnen auf der einen Seite die Wurzelschwächung [46,132], vor allem der exzessive Abtrag von noch gesunder Zahnhartsubstanz im Rahmen der endodontischen und restaurativen Maßnahme [61,138] und auf der anderen Seite eine zu große Kraftausübung während der Kondensation von Guttapercha [47,67,69] sind.

1.4.2 Klassifikation vertikaler Wurzelfrakturen

Um ein Konzept zur Behandlung vertikaler Wurzelfrakturen zu entwickeln, hat Aesaert [1] eine Klassifikation vertikaler Wurzelfrakturen erstellt. Die folgende Klassifikation beinhaltet ausschließlich Längsfrakturen von endodontisch behandelten Zähnen und unterscheidet sich damit von der Klassifikation der American Association of Endodontics, die auch Frakturen an Zahnkronen und nicht wurzelkanalbehandelten Zähnen mit einschließt [1,3]. Tabelle 2 und Abbildung 1 sollen ein Überblick über die Einteilung und das Erscheinungsbild der einzelnen Wurzelfrakturen geben.

Tab. 2: Klassifikation vertikaler Wurzelfrakturen nach Aesaert [1]

Blind crack	unvollständige Längsfraktur, ein Riss, der im Inneren der Wurzel seinen Ursprung hat, aber (noch) keine Verbindung zum Parodontalspalt aufweist
Klasse I	komplette Längsfraktur unter Einbeziehung des Parodontalspalts
Klasse II a	zwei Frakturlinien, die weniger als 90° voneinander entfernt sind
Klasse II b	zwei Frakturlinien, die mehr als 90° voneinander entfernt sind
Klasse III	Längsfraktur nur im apikalen Wurzelbereich

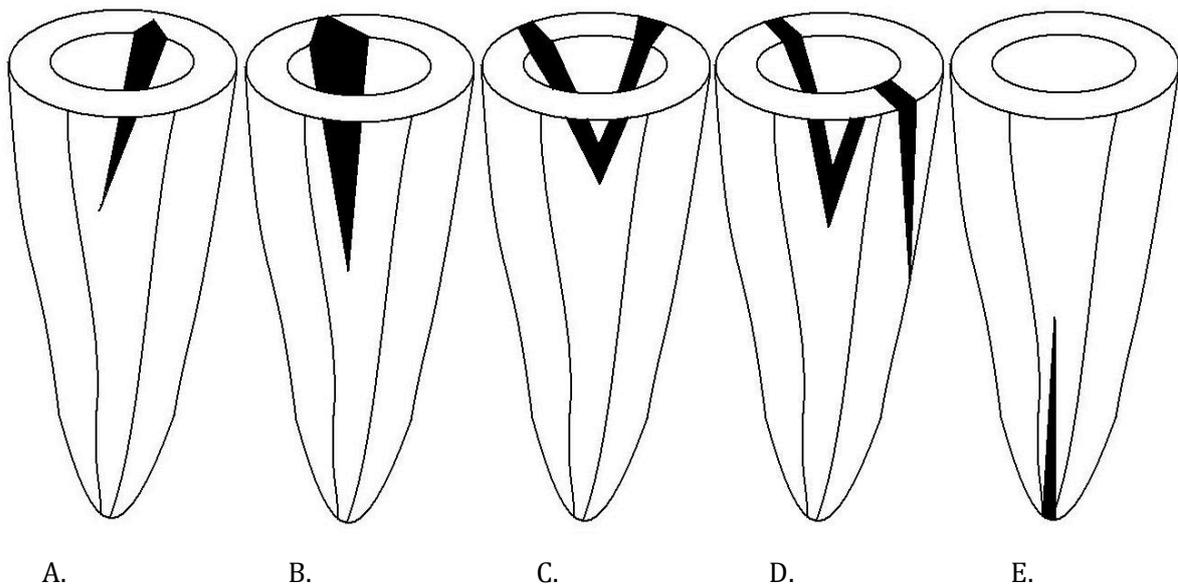


Abb. 1: Schematische Darstellung vertikaler Wurzelfrakturen nach der Klassifikation von Aesaert [1] und nach Stenner [125]. A.: Blind crack, B.: Klasse I, C.: Klasse IIa, D.: Klasse IIb, E.: Klasse III

In der Literatur werden die Begriffe der vollständigen oder unvollständigen, [132] bzw. der kompletten oder inkompletten Wurzelfraktur [17] häufig nebeneinander verwendet, was jedoch zu einer Verwirrung führen kann, da sie nicht immer die gleiche Bedeutung haben. Sie kann unter anderem bedeuten, dass die Pulkammer beteiligt ist oder nicht, dass die Fraktur auf die Krone begrenzt ist oder sich bis in den Wurzelbereich erstreckt, oder dass der Zahn

1 Einleitung und Problemstellung

komplett frakturiert ist oder nicht [1]. Die oben dargestellte Klassifikation nach Aesert geht davon aus, dass die Fraktur ihren Ausgang im Inneren des Kanals nimmt [21,51,88] und sich demzufolge eine vollständige Längsfraktur bis zum Parodontalspalt erstreckt. Etwa 90% der vertikalen Frakturen sind laut Walton et al. [150] vollständig.

1.4.3 Histologisches und klinisches Erscheinungsbild vertikaler Wurzelfrakturen

1.4.3.1 Pathohistologie

Es ist davon auszugehen, dass VRF als kleine inkomplette Frakturen in den inneren Dentinschichten beginnen und sich mit der Zeit, sowie einwirkenden okklusalen Kräften, immer weiter ausdehnen [88]. Dabei verlaufen die Frakturen in der Regel parallel oder entlang von Dentinkanälchen [40]. Eine Dentinsklerosierung scheint keinen Effekt auf das Auftreten von VRF zu haben [96]. Zumeist sind die Wurzeln in Folge einer Fraktur nur in unvollständige Fragmente geteilt [86], sodass es erst durch das Einwachsen von Granulationsgewebe zu einer Separation der Bruchstücke kommt [133]. Walton et al. [150] konnten über den Inhalt von Frakturspalten zeigen, dass diese häufig eine Vielzahl von entzündungsauslösenden Stoffen enthalten. Dazu zählen vor allem Bakterien, wobei gram-positive Bakterien überwiegen, amorphes nekrotisches Gewebe, Fremdmaterialien wie Essensreste, aber auch Bestandteile des Wurzelfüllmaterials. Eine genaue Bestimmung, welcher dieser Stoffe ursächlich für die Entzündung ist, konnte nicht getroffen werden. Sicher ist jedoch, dass Bakterien, sowie der verwendete Sealer einen entscheidenden Einfluss auf die entzündliche Destruktion des parodontalen Gewebes haben [43,75,133,150]. Als Folge dieser Entzündung kommt es entlang der VRF zu einer Osteolyse. Demnach weisen 90% der VRF einen angrenzenden Knochendefekt auf, der sich mit der Zeit weiter ausdehnt [36,133]. Vor allem

1 Einleitung und Problemstellung

bei einer dünnen vestibulären Knochenlamelle kommt es zu einem rapiden Knochenverlust entlang des Frakturspalts. Die dicke Kortikalis auf der oralen Seite hingegen verhindert einen Durchbruch der Kompakta nach subgingival, sodass es hier eher zu einer Ausdehnung in die Breite kommt [133]. Die Annahme, dass vertikale Wurzelfrakturen durch eine überbrückende Hartschichtbarriere von selbst ausheilen, kann nicht bestätigt werden [150]. Eine Regeneration vertikaler Wurzelfrakturen ist nicht möglich [132]. Demnach führt die Infektion des Frakturspalts in der Regel zum Verlust des betroffenen Zahnes [1].

1.4.3.2 Klinisches Erscheinungsbild

Behandelnde Zahnärzte sind immer wieder über die tief greifenden Auswirkungen von VRF auf das den Zahn umgebende parodontale Ligament überrascht. Entscheidend ist dabei, dass es bei allen vertikalen Wurzelfrakturen zu Umwandlungen, sowohl im Hart- als auch im Weichgewebe kommt [150]. Der Grund dieser Umwandlung liegt in einer chronischen und rezidivierend-akuten Entzündung entlang des Frakturspalts, die in der Folge zu einem Zusammenbruch des parodontalen Halteapparates führt [86,133]. Dennoch ist die genaue Diagnose einer VRF schwierig [8,72]. Zu den typischen klinischen Symptomen einer vertikalen Wurzelfraktur zählen unter anderem ein, durch mehrere Autoren beschriebenes Unwohlsein am betroffenen Zahn [25,72,81], eine charakteristische eher marginal gelegene Schwellung vor allem an der bukkalen Seite des Zahns [125], sowie sichtbare und tastbare Frakturspalten [81,93]. Auch die Angabe von Schmerzen am betroffenen Zahn ist in über 40% der Fälle zu finden [92]. Als weiteres, deutlich auf eine VRF hinweisendes Symptom, kann häufig ein einzelner, meist vestibulär gelegener, schmaler und tiefer Knochendefekt gefunden werden [75]. Ein solcher Befund an sich kann bereits als deutlicher Hinweis für eine VRF gesehen werden [25]. Des Weiteren klagen Patienten mit vertikalen

1 Einleitung und Problemstellung

Wurzelfrakturen wiederholt über einen schlechten Geschmack und fallen gegebenenfalls durch einen Abszess im Bereich des frakturierten Zahns auf [125]. Zusätzlich zu den klinischen Befunden lassen sich auch anhand von Röntgenaufnahmen klare Hinweise auf eine VRF finden. Als ein Zeichen, das auf eine VRF hindeutet, zählt eine Aufhellung entlang des Wurzelkanalfüllmaterials, das zuvor wandständig eingebracht war, bzw. entlang eines zuvor wandständigen Wurzelkanalstiftes. Des Weiteren gilt eine Verschattung innerhalb der Zahnwurzel, die auf ein Verpressen von Wurzelkanalfüllmaterial in einen Spalt, innerhalb der Zahnwurzel, hindeutet als ein weiteres Zeichen. Zusätzlich dazu gelten vor allem treppenförmige, sowie V-förmige, koronal weite und nach apikal eng werdende Knochendefekte entlang der Zahnwurzel als deutliche Hinweise auf das Vorliegen einer vertikalen Wurzelfraktur. Zuletzt beweisen sichtbar separierte Wurzelfragmente auf einer Röntgenaufnahme klar das Vorliegen einer VRF [25,81,125,132,133,138].

1.5 Häufigkeit und Altersverteilung vertikaler Wurzelfrakturen

Wie bereits oben beschrieben, ist die Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne im Allgemeinen gut [36]. Dennoch werden VRF wiederkehrend als einer der häufigsten Extraktionsgründe angegeben [9,92]. Zuletzt wurden in der Literatur zunehmend höhere Fallzahlen vertikaler Wurzelfrakturen genannt. So geht die Studie von Fuss et al. [34] davon aus, dass an 10,9% aller extrahierten wurzelkanalbehandelten Zähnen eine VRF vorliegt. Dies kann zwar an einem vermehrten Auftreten von VRF liegen [1], es ist jedoch eher anzunehmen, dass eine größere Fokussierung auf dieses Problem zum beschriebenen Anstieg geführt hat [64]. Dies ist besonders vor dem Hintergrund interessant, dass noch vor wenigen Jahren Fallzahlen zwischen zwei und fünf Prozent angegeben wurden [78,80,119].

1 Einleitung und Problemstellung

In Bezug auf die Altersverteilung zeigen die Untersuchungen verschiedener Autoren übereinstimmend, dass VRF bevorzugt bei älteren Patienten [64] vorkommen, wobei die meisten Frakturen in einer Altersgruppe zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr liegen [17,21,47,73,138,159]. Mit rund 80% ereignen sich dabei die meisten vertikalen Wurzelfrakturen ab dem 40. Lebensjahr [17,33]. Im Allgemeinen findet man vertikale Wurzelfrakturen an Wurzeln mit geringem mesio-distalen Durchmesser, wie z.B. bei Prämolaren, mesio-bukkalen Wurzeln oberer Molaren und mesialen Wurzeln unterer Molaren [25,33,36,132,138].

1.6 Prognose und Therapie vertikaler Wurzelfrakturen

Die Prognose von Zähnen mit Längsfrakturen ist in den meisten Fällen sehr schlecht, wenn nicht sogar infaust. Das wichtigste Ziel bei der Therapie einer VRF muss immer die Beseitigung der Fraktur sein [93,132]. Betrifft die Fraktur Zähne mit nur einer Wurzel, ist fast immer die Extraktion des Zahns die einzige Behandlungsmöglichkeit [25,67,94] und sollte möglichst zeitnah stattfinden, um eine weitere Knochenresorption zu vermeiden [75,81]. Bei Zähnen mit mehr als einer Wurzel kann alternativ eine Hemisektion [8,133], oder im günstigsten Fall eine Wurzelamputation [72,93,94,133] durchgeführt werden, um den Zahn weiter zu erhalten. Die Überlebensrate nach Wurzelamputationen ist allgemein als gut einzuschätzen. Sie beträgt 94% nach fünf Jahren und immer noch rund 70% nach zehn Jahren. Hauptgrund für deren Misserfolg sind endodontische Probleme [16,68].

Insgesamt gilt die Therapie einer vertikalen Wurzelfraktur als schwierig und lässt dem Behandler hinsichtlich der Therapieoptionen nur wenig Spielraum [8,81]. Eine Regeneration konnte trotz diverser Anstrengungen bis heute nicht erreicht werden [132]. Da das Behandlungsziel immer auf eine Elimination des Frakturspaltes ausgerichtet sein muss, sind die therapeutischen Alternativen

1 Einleitung und Problemstellung

allerdings abhängig vom jeweiligen Frakturverlauf [8]. In der Literatur wurden vielfältige Therapiekonzepte dargestellt. Sie beschränken sich meist auf Einzelfalldarstellungen ohne eine genaue Angabe über deren Langzeiterfolg. So beschrieben Pitts et al. [93] die Möglichkeit des Erhalts eines frakturierten Zahns mit Hilfe einer chirurgischen Kronenverlängerung, um eine koronal gelegene Fraktur nicht mehr im Parodontalspalt liegen zu lassen. Dies kann die Entzündung und damit den Knochenabbau stoppen, ist aber bei einem Fortschreiten der Fraktur nach apikal wirkungslos. Firedmann et al. [31] schlagen in einer in-vitro Studie vor, dass frakturierte Zähne mit Zyanoakrylatkleber und Glasionomerzement versiegelt und anschließend wieder replantiert werden sollten. Ähnlich gehen Sugaya et al. [130] und Kawai et al. [60] vor, wenn sie beschreiben, dass vertikal frakturierte Zähne extrahiert, die Bruchspalten extraoral mit einer adhäsiven Befestigung verklebt und die Zähne anschließend wieder replantiert werden können. Langzeitstudien zu diesen Methoden liegen nicht vor. Sowohl eine Verschmelzung der Fragmentenden mit einem Laser beschrieben durch Arakawa [6], als auch der Versuch den Zahn zu erhalten, indem man den Frakturteil entfernt und das noch fest im Knochen verankerte Segment belässt [93,116], wurden unternommen, jedoch als unwirksam eingeschätzt.

Mehrere Autoren sind der Meinung, dass der Verlust des Zahns verhindert werden kann, indem man die Bruchstücke mit Glasionomerzement verbindet, um damit die Fraktur zu stoppen [81]. In einem Follow-up über sechs Monate konnte Barkhordar [10] eine gewisse Heilung des parodontalen Ligaments nachweisen, nachdem er den frakturierten Zahn zunächst mit Calciumhydroxid Zement behandelt und in einem zweiten Schritt mit Glasionomerzement stabilisiert hat. Alle Versuche zeigen dennoch auf, dass diese Arten der Therapie derzeit allenfalls einen Kurzzeiterfolg gewährleisten und somit als experimentell anzusehen sind.

1 Einleitung und Problemstellung

Aufgrund der doch limitierten Therapiealternativen sind Zähne mit Längsfrakturen in der Regel zu extrahieren. Die Entscheidung darüber, ob ein Behandlungsversuch unternommen wird, sollte sowohl von der weiteren Versorgung als auch vom Patientenwunsch abhängen. Zu berücksichtigen ist in jedem Fall, dass ein Belassen eines Zahnes mit einer vertikalen Wurzelfraktur letztlich nicht nur im Verlust dieses Zahnes, sondern auch im Verlust einer größeren Menge an Knochensubstanz resultieren würde [1].

1.7 Problemstellung

Vertikale Wurzelfrakturen sind sowohl für den Patienten, als auch für den Zahnarzt ein frustrierendes Problem, das zumeist im Verlust des entsprechenden Zahns endet. Sind Molaren betroffen, kann der Versuch unternommen werden, die Zähne zumindest mittels einer Wurzelamputation teilweise zu erhalten. Besonders im Hinblick auf die durch eine Wurzellängsfraktur hervorgerufene Osteolyse, die meist notwendige Extraktion des Zahns und die daraus folgenden Problem der Weiterversorgung haben vertikale Wurzelfrakturen in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.

Trotz einer Reihe von Falldarstellungen und experimentellen Studien über die Entstehungsmechanismen vertikaler Wurzelfrakturen, sind viele Hintergründe dieser Art von Zahnfrakturen noch unbekannt. Ziel der Nachuntersuchung sollte die Klärung der folgenden Fragen sein:

- Wie hoch ist die Prävalenz vertikal frakturierter Molaren in einem Kollektiv von Molaren, das im Zeitraum vom Januar 2000 bis Juli 2010 in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie wurzelkanalbehandelt wurde?

1 Einleitung und Problemstellung

- Welche klinischen und radiologischen Befunde sind charakteristisch für vertikale Wurzelfrakturen und welche charakteristischen Symptome zeigen diese Zähne?
- Welche prädisponierenden Faktoren für das Auftreten vertikaler Wurzelfrakturen lassen sich sowohl bezüglich des präoperativen Status und der Anamnese, als auch im Hinblick auf behandlungstechnische Aspekte identifizieren?
- Ist es möglich, präventiv auf diese Faktoren und somit auf das Auftreten vertikaler Wurzelfrakturen einzuwirken?

2 Patientengut und Methoden

Präambel:

Aus Gründen einer vereinfachten Lesbarkeit wurde in der Dissertation neben der männlichen nicht auch die weibliche Bezeichnung aufgeführt. Gemeint sind in allen Fällen sowohl Frauen als auch Männer.

Um die Langzeitverweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne darstellen zu können, sollten Patienten mit erfolgreich abgeschlossenen Wurzelkanalbehandlungen nachuntersucht werden. Dies erfolgte in Form einer retrospektiven Untersuchung in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Universitätsklinikums Ulm, unter Verwendung eines speziell für die Erfassung von vertikalen Wurzelfrakturen entwickelten Erhebungsbogens.

2.1 Erstellung des Erhebungsbogens

Mithilfe des entwickelten Erhebungsbogens sollten möglichst viele Informationen über den entsprechenden Zahn gesammelt werden. Dabei sollten sowohl die durchgeführte Behandlungsmaßnahmen, als auch vorhandene Röntgenaufnahmen, Akteneinträge, Untersuchungsbefunde und Angaben der Studienteilnehmer berücksichtigt werden. Dementsprechend ergab sich folgende Gliederung des Erhebungsbogens in vier Abschnitte:

- Allgemeine Angaben zum Studienteilnehmenden
- Durchgeführte Behandlung anhand der Krankenakte
- Auswertung von vorhandenen Röntgenaufnahmen und Röntgenbefunden des Zahns

- Ergebnisse der klinischen Untersuchung und der Befragung des Studienteilnehmenden

Die Angaben zu den einzelnen Positionen erfolgen größtenteils durch Ankreuzen vorgegebener Antwortmöglichkeiten. Für Messangaben, deskriptive Angaben, Jahreszahlen, sowie für eine Zusammenfassung am Ende jedes Abschnitts waren freie Texteingaben vorgesehen. Nicht zu ermittelnde Daten wurden in den Erhebungsbögen markiert, um sie bei der Auswertung gesondert berücksichtigen zu können. Im Folgenden soll auf den Aufbau des Erhebungsbogens und die Auswahl der Parameter, wie er auf Seite 24 bis 26 unter den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt ist, näher eingegangen werden.

Universitätsklinikum Ulm

Untersuchungsparameter

Name des Patienten: _____ Alter: männlich weiblich

Zahn: _____ Anzahl der Kanäle: _____

Durchgeführte Behandlung: (Anhand der Krankenakte)

Zahn initial vital Zahn initial avital

Perk initial negativ Perk initial positiv

Pat. mit initialen Schmerzen Diagnose _____

Maschinelle Aufbereitung Manuelle Aufbereitung

Zeitabstände: Trep-WK _____Wo. WK-WF _____Wo.

WF-restaurativen Versorgung _____Jahre, Monate

WF-Vorstellung zur Studie _____Jahre, Monate

ISO: MAF _____ FF _____

Stift inseriert _____ Abstand zu Rö-Apex im mm ca. _____

Bereits erfolgte Ex Aufgrund von VRF

Beurteilung von Röntgenbildern:

Qualität der WF: Wandständig

(Abfüllkontrolle) Homogen

Abstand zu Rö-Apex _____mm

Überfüllt ~ _____mm²

1

Abb. 2: Seite 1 des Erhebungsbogens

<p><input type="checkbox"/> Ohne Zusammenhang mit proth. Versorgung</p> <p><input type="checkbox"/> Brücke/pfeiler</p> <p><input type="checkbox"/> Halteelement für Prothesen, wenn ja welche _____</p> <p>Antagonist <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p> <p>Kaufläche gesund <input type="checkbox"/></p> <p>Füllung _____</p> <p>TK _____</p> <p>K _____</p> <p>Brückenglied _____</p> <p><input type="checkbox"/> Endständiger Zahn</p> <p><input type="checkbox"/> Perkussion positiv</p> <p><input type="checkbox"/> Lockerung Grad _____</p> <p><input type="checkbox"/> Schwellung</p> <p><input type="checkbox"/> Fistel</p> <p><input type="checkbox"/> Sichtbarer Frakturspalt</p> <p><input type="checkbox"/> Tastbarer Frakturspalt</p> <p><input type="checkbox"/> Auffällige Sondierungstiefe _____ mm</p> <p><input type="checkbox"/> V-förmiger Defekt</p> <p><input type="checkbox"/> Verdacht auf VRF, wenn ja warum _____</p>	<p><input type="checkbox"/> Verdacht auf VRF, warum _____</p> <p><input type="checkbox"/> VRF sicher diagnostiziert</p> <p>Sonstiges: _____</p>
4	5

Abb. 4: Seite 4 und Seite 5 des Erhebungsbogens

2.1.1 Gliederung des Erhebungsbogens

2.1.1.1 Erster Teil des Erhebungsbogens

Im ersten Teil des Erhebungsbogens wurden allgemeine Daten des Studienteilnehmenden erfasst. Darunter zählten der Name, das Alter, das Geschlecht, sowie der zu untersuchende Zahn mit der Anzahl der Wurzelkanäle.

2.1.1.2 Zweiter Teil des Erhebungsbogens

Der zweite Teil betraf die durchgeführten Behandlungsmaßnahmen an dem fraglichen Zahn. Ermittelt wurden diese Daten anhand der Patientenakte. Hierbei wurde besonders auf die erhobenen Befunde, unter anderem die initiale Vitalität, den Perkussionszustand und eventuelle Schmerzen am fraglichen Zahn, Wert gelegt. Zusätzlich wurde die daraus abgeleitete Anfangsdiagnose des behandelten Zahns erfasst. Im Anschluss daran wurde im Einzelnen auf die durchgeführten Behandlungsmaßnahmen eingegangen. Von Interesse war dabei die Art der Aufbereitung mit den entsprechenden Größen der Feilen und ob ein Stift inseriert wurde. Bei vorhandenen Wurzelkanalstiften wurde auch deren Material eruiert. Weitere Fragen bezogen sich auf die Zeitabstände zwischen Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung, zwischen Wurzelkanalaufbereitung und der Wurzelkanalfüllung, zwischen der Wurzelkanalfüllung und restaurativer Versorgung, sowie zwischen Wurzelkanalfüllung und Vorstellung des Studienteilnehmers im Rahmen der Studie. Zusätzlich dazu wurde eruiert, ob der entsprechende Zahn bereits aufgrund einer VRF extrahiert wurde.

2.1.1.3 Dritter Teil des Erhebungsbogens

Der dritte Teil des Erhebungsbogens befasste sich mit der Auswertung vorhandener Röntgenaufnahmen, die während der Behandlung, sowie im weiteren Verlauf angefertigt wurden. Beurteilt wurde die Qualität der Wurzelkanalfüllung anhand der Röntgenaufnahme, die zur Abfüllkontrolle angefertigt wurde. Zusätzlich wurden die präoperativ (vor Beginn der Wurzelkanalbehandlung), nach erfolgter Wurzelkanalfüllung, sowie die im Rahmen von Verlaufskontrollen angefertigten Röntgenaufnahmen ausgewertet. Die Bewertungskriterien umfassten:

- Aufhellungen (periapikal, lateral, interrädikulär)
- Diskontinuitäten innerhalb der Zahnhartsubstanz
- Die Separation von Wurzelfragmenten
- Verlust der Wandständigkeit einer Wurzelkanalfüllung im Vergleich zur Abfüllkontrollaufnahme
- Radioluzenzen neben im Wurzelkanal verankerten Stiften
- Ein verbreiterte Parodontalspalt
- Treppenförmige Knochendefekte
- V-förmige koronal breite Knochendefekte

2.1.1.4 Vierter Teil des Erhebungsbogens

Mit dem vierten Teil des Erhebungsbogens wurde die zum Zeitpunkt der Untersuchung aktuelle Situation des Studienteilnehmers erfasst. Erhoben wurden diese Daten während einer klinischen Untersuchung. Der Studienteilnehmende wurde zunächst zu möglichen Symptomen befragt. Dabei wurde besonders auf das Gefühl eines Knackens während der Wurzelkanalbehandlung, sowie auf ein gewisses „Unwohlsein“ bis hin zu Schmerzen am betroffenen Zahn eingegangen. Darauf erfolgte eine detaillierte Befunderhebung an den fraglichen Zähnen, die folgende Punkte umfasste:

- Ein Parodontaler Screening Index (PSI) zur Erfassung der parodontalen Gesamtsituation
- Die Beurteilung der funktionellen Belastung des Zahns
- Der Restaurationszustand
- Kariöse Läsionen

Ein besonderes Augenmerk galt Veränderungen, die auf das Vorliegen einer VRF hindeuten können. Darunter zählten:

- Ein positiver Perkussionszustand
- Lockerungsgrade
- Schwellungen
- Fisteln
- Sichtbare und tastbare Frakturspalten
- Auffällige Sondierungstiefen
- V-förmige Knochendefekte beim Sondieren

Ein Verdacht auf eine VRF konnte jeweils am Ende eines Abschnitts des Erhebungsbogens vermerkt werden, wodurch sollte die Auswertung der Erhebungsbögen erleichtert werden sollte. Zusätzlich dazu sollte untersucht werden, welcher Untersuchungsbefund bei einer späteren Fraktur am auffälligsten war und somit am ehesten einen Hinweis auf eine VRF geben kann.

Abschließend enthielt der Erhebungsbogen ein offenes Textfeld, in das Besonderheiten oder sonstige, für die Studie interessante Daten, eingetragen werden konnten.

2.2 Rekrutierung der Studienteilnehmenden und Terminvergabe

Um möglichst aussagekräftige Daten zu erhalten, wurde angestrebt alle Patienten, die im Zeitraum von Januar 2000 bis Juli 2010 in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie an einem oder mehreren Molaren

endodontisch behandelt wurden, zu kontaktieren und zur Studienteilnahme einzuladen.

2.2.1 Auswahl der Studienteilnehmenden

In die Studie eingeschlossen wurden alle Patienten, die während der letzten zehn Jahre (Januar 2000 bis Juli 2010) in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie eine Wurzelkanalbehandlung an einem ersten oder zweiten Molaren erhalten haben. Andere Zähne wurden nicht berücksichtigt. Nicht in die Studie eingeschlossen wurden Patienten mit dem Verdacht auf eine Endokarditis oder bereits überstandener Endokarditis. Ebenfalls ausgeschlossen wurden Patienten mit künstlichen Herzklappen, sowie Patienten, die ein Risiko für den Erwerb einer infektiösen Endokarditis, aufwiesen. Auf diese Weise sollte eine Gefährdung des Studienteilnehmers durch eine Bakteriämie beim Sondieren der Zahnfleischtaschen ausgeschlossen werden. Der Nachuntersuchungszeitraum erstreckte sich über die zurückliegenden zehn Jahre, da die Archivierung der Patientenakten teilweise nicht weiter zurück reichte und somit nur in diesem Zeitraum eine vollständige Datenerfassung möglich war. Die dafür relevante Zähne wurden mit Hilfe des Abrechnungssystem (HighDent plus Ia Systems) des Departments für Zahnheilkunde ermittelt. Die Identifizierung der endodontisch behandelten Zähne erfolgte anhand der Abrechnungsziffern für die Wurzelkanalfüllung und ermöglichte den Zugriff auf die relevanten Patientendaten wie Name, Geschlecht, Alter, Adresse und Telefonnummer, sowie auf Informationen über die behandelten Zähne und auf die Behandlungsdaten. Die Analyse über HighDent plus Ia Systems ergab für den Zeitraum von Januar 2000 bis einschließlich Juli 2010 insgesamt 589 wurzelkanalbehandelte Molaren, davon 352 erste Molaren und 237 zweite Molaren. Abbildung 5 zeigt die Verteilung der wurzelkanalbehandelten Molaren auf die einzelnen Zahngruppen.

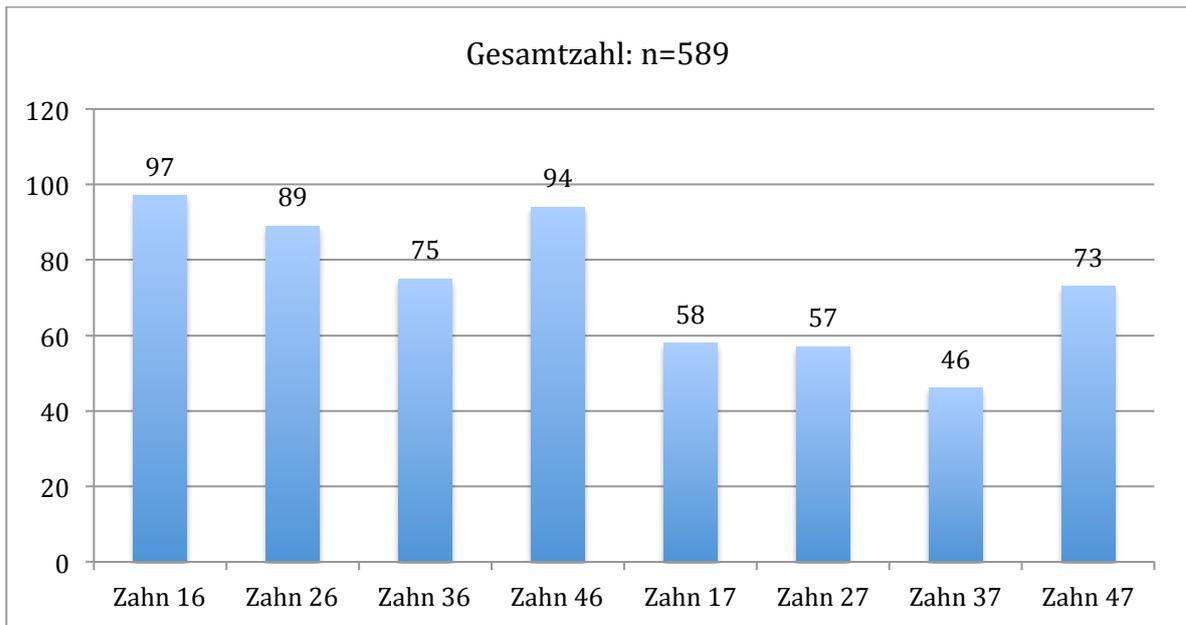


Abb. 5: Wurzelkanalbehandelte erste und zweite Molaren im Zeitraum von Januar 2000 bis Juli 2010

Das potentielle Probandengut umfasst 498 Patienten mit insgesamt 589 wurzelkanalgefüllten ersten und zweiten Molaren, da bei manchen Patienten mehr als ein Molar endodontisch behandelt wurde.

2.2.2 Einladung zur Studienteilnahme und Kontaktaufnahme

Wegen der hohen Anzahl möglicher Studienteilnehmender wurde eine mehrstufige Kontaktaufnahme gewählt. Zunächst wurde am 28.07.2010 eine umfangreiche Patienteneinladung/Patienteninformation allen potentiellen Studienteilnehmern (n = 498) an die jeweils bekannte Adresse versandt. Jedes Einladungsschreiben (siehe Anhang) beinhaltete ein einseitiges Anschreiben mit Informationen zur Studie, sowie eine dreiseitige ausführliche Teilnehmerinformation. Der Einladung waren außerdem eine Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie, sowie Informationen zum Datenschutz beigelegt.

2 Patientengut und Methoden

Auf der ersten Seite der Einladung wurden zunächst der Titel der Studie und eine kurze Übersicht über vertikale Wurzelfrakturen, deren Pathogenese sowie der Inhalt und das Ziel der Studie erörtert. Zusätzlich wurde erläutert, welche Auswirkungen vertikale Wurzelfrakturen haben, um die Notwendigkeit der Studie zu verdeutlichen und die Patienten zur Teilnahme zu motivieren. Schließlich wurde den Patienten eine Telefonnummer genannt, unter der sie die Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie zur Vereinbarung eines Untersuchungstermins, oder zur Klärung eventueller Fragen, erreichen konnten.

Die zweite bis vierte Seite der Einladung beinhalteten detaillierte Hinweise zur Zielsetzung und zum Ablauf der Studie. Hierbei wurden zunächst die Ein- und Ausschlusskriterien erläutert. Im Anschluss daran wurde eine Übersicht über den Inhalt der Studie und zu den Zielen des Forschungsprojekts, sowie dessen Ablauf gegeben. Ergänzt wurde die Einladung durch eine Information zur Schweigepflicht und zum Datenschutz, mit dem Hinweis auf die Einsichtnahme des Studienleiters in die Krankenakte.

Außerdem lag die einseitige Einwilligungserklärung zur Teilnahme an einer Studie mit der entsprechenden Information zum Datenschutz des Universitätsklinikums Ulm bei, sodass die Einwilligungserklärung den Studienteilnehmenden bereits vor Studienbeginn zur Verfügung stand.

In einem weiteren Schritt, sechs Wochen nach Versand der Patienteneinladungen, erfolgte über einen Zeitraum von zwei Wochen eine telefonische zweite Kontaktaufnahme mit den Patienten, die bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht auf die schriftliche Einladung reagiert hatten. Dabei konnte jedoch nur etwa die Hälfte der fraglichen Studienteilnehmer telefonisch erreicht werden, da die in der Krankenakte hinterlegten Telefonnummern in vielen Fällen nicht mehr aktuell waren.

2 Patientengut und Methoden

Von den insgesamt 498 verschickten Briefen konnten 41 aufgrund falscher Adressen oder aus anderen Gründen (z.B. Patient verstorben) nicht zugestellt werden. Darüber hinaus wurde im oben genannten Zeitraum mit 227 Patienten telefonisch Kontakt aufgenommen. Insgesamt konnten 84 Patienten in die Studie einbezogen werden. Da bei mehreren Patienten zwei oder mehr Zähne behandelt wurden, umfasst das Untersuchungsgut insgesamt 114 Zähne. Aus Tabelle 3 sind die einzelnen Schritte der Kontaktaufnahme nochmals ersichtlich.

Tab. 3: Kontaktaufnahme mit Patienten (n = 498)

Schriftlich kontaktierte Patienten	498	100%
Nicht angekommene Briefe	41	8%
Telefonisch kontaktierte Patienten	227	46%
Zur Untersuchung erschienene Patienten	84	17%

2.2.3 Terminvergabe

Die Vergabe der Untersuchungstermine erfolgte durch das Kliniksekretariat der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie. Dabei war ein Untersuchungszeitraum vom 30.08.2010 bis 04.12.2010 vorgesehen. Dies sollte ausreichend Zeit gewähren, um alle Patienten einzubestellen. In den ersten fünf Wochen erfolgte eine ganztägige Terminvergabe. Im Anschluss daran wurden jeweils einzelne Nachmittage zur Terminvereinbarung zur Verfügung gestellt. Dadurch war es möglich, mit allen Studienteilnehmern bis zum 29.11.2010 einen Untersuchungstermin zu vereinbaren.

2.3 Ablauf der Untersuchungen und Datenerhebung

Um sicherzustellen, dass alle erhobenen Daten jeweils gleichbleibend beurteilt werden können, wurden alle Befragungen, Datenerhebungen und Untersuchungen durch einen Untersucher durchgeführt. Im Zeitraum vom 08.09.2010 bis 29.11.2010 wurden hierbei 84 Patienten nachuntersucht

Für die Untersuchungsdauer eines Patienten waren 30 bis max. 45 Minuten vorgesehen. In Folge dessen wurden die Patienten in einem Abstand von 60 Minuten einbestellt, sodass ausreichend Zeit zur Vorbereitung auf den nächsten Patienten zur Verfügung stand. Da die Items des ersten bis dritten Teils des Erhebungsbogens ausschließlich durch bereits vorhandene Daten beantwortet werden konnten, wurde diese Datenerhebung vor Patientenkontakt, jedoch am selben Tag durchgeführt. Hierbei wurde zur Beantwortung der allgemeinen Fragen und zu Fragen der bereits durchgeführten Behandlung auf die Patientenakte zurückgegriffen. Das Ausfüllen des Erhebungsbogens erfolgte größtenteils durch Ankreuzen vorgegebener Antwortmöglichkeiten. Durch freie Texteingaben und durch eine Eingabe von Zahlenwerten wurde der Erhebungsbogen vervollständigt. Für die Auswertung der Röntgenaufnahmen wurde auf alle Röntgenaufnahmen des Studienteilnehmers der zurückliegenden zehn Jahre zurückgegriffen.

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchung wurden zunächst die noch offenen Fragen der Studienteilnehmer bezüglich der Zielsetzung, des Forschungsthemas im Allgemeinen und des Ablaufs der Untersuchung besprochen und beantwortet. Die von den Studienteilnehmern unterschriebenen Einwilligungserklärungen, mit den Informationen zum Datenschutz wurden eingesammelt. Im Gegenzug wurde den Studienteilnehmern ein Duplikat der Einwilligungserklärung ausgehändigt. Im Anschluss daran wurde von jedem Patienten eine ausführliche Anamnese

2 Patientengut und Methoden

erhoben um eventuelle Gefährdungen bzw. Ausschlusskriterien zu erkennen. Patienten die in Folge dessen nicht hätten teilnehmen dürfen, wurden nicht identifiziert, sodass alle 84 einbestellten Studienteilnehmer auch an der Untersuchung teilnehmen konnten und in die Studie aufgenommen wurden. Die Anamnese wurde unter Zuhilfenahme des Anamnesebogens des Departments für Zahnheilkunde erhoben. Zur korrekten Archivierung wurde dieser Anamnesebogen anschließend vom Patienten unterschrieben und der Krankenakte beigelegt.

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung wurden im vierten Teil des Erhebungsbogens dokumentiert. Zunächst wurden mit dem Studienteilnehmer die vier anamnestischen Items (siehe Seite 2 des Erhebungsbogens in Abbildung 3) besprochen. Darauf folgend wurde vor der eigentlichen intraoralen Untersuchung deren Ablauf dem Studienteilnehmer nochmals kurz erklärt.

Die Untersuchung selbst begann mit der Erhebung des PSI mit Hilfe einer WHO-Sonde. Dabei wurden an allen Zähnen eines Sextanten jeweils sechs Messstellen gemessen und der größte Wert jedes Sextanten im Erhebungsbogen vermerkt. Mittels der erhobenen PSI-Werte konnte beurteilt werden, ob eine generalisierte Parodontitis vorliegt. Darauf wurden mit Hilfe von Okklusionsfolien und Shimstockfolie die dynamische Okklusion überprüft. Besonderes Augenmerk galt dabei der Frage, ob die endodontisch behandelten Zähne Vorkontakte aufwiesen. Zusätzlich erfolgte eine visuelle Prüfung auf Schliffacetten an den zu untersuchenden Zähnen. Restaurative Versorgungen mit direkten bzw. indirekten Restaurationen wurden durch Ankreuzen der vorgegebenen Antwortmöglichkeiten erfasst. Auch das Vorhandensein klinisch erkennbarer Kariesläsionen wurde in diesem Zusammenhang im Erhebungsbogen dokumentiert. Die klinische Kariesdiagnostik erfolgte mittels Sondieren und visueller Inspektion, ggf. unter Verwendung einer Lupenbrille. Daran anschließend wurde erhoben, inwieweit der fragliche Zahn

2 Patientengut und Methoden

des Studienteilnehmers mit einer prothetischen Versorgung in Zusammenhang steht. Soweit vorhanden wurde auch der Antagonist beurteilt. Zuletzt erfolgte die genaue Untersuchung des endodontisch behandelten Molaren. Mit Hilfe des Mundspiegelgriffes wurden Perkussionsempfindlichkeit und Lockerungsgrad überprüft. Zur Bestimmung der Perkussionsempfindlichkeit wurde der Zahn vorsichtig mit dem Spiegelgriff beklopft. Zur Bestimmung des Lockerungsgrads wurde versucht den Zahn nach oral und vestibulär zu bewegen. Die Suche nach tastbaren Frakturspalten wurde mit einer spitzen zahnärztlichen Sonde durchgeführt. Für die genaue, zirkulär umlaufende Taschensondierung wurde eine millimeterskalierte Parodontalsonde verwendet. Auffällige Sondierungstiefen und V-förmiger Knochendefekt wurden ebenfalls dokumentiert.

Wurden während der Untersuchung pathologische Befunde wie Karies oder auffällige Sondierungstiefen erhoben, erfolgte die Überweisung der betreffenden Studienteilnehmer zur weiteren Abklärung und Behandlung in die Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie. Die Teilnahme an der Studie wurde in der Krankenakte des Studienteilnehmers vermerkt.

2.4 Datenerfassung und Statistik

Alle Fragebögen der 114 zur Verfügung stehenden Zähne konnten ausgewertet werden. Für die elektronische Datenerfassung wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel Version 14.1.0 verwendet. Jedem Item im Erhebungsbogen, das durch Ankreuzen zu beantworten war, wurde ein Zahlencode zugeordnet. Offene Fragen erhielten freie Textzeilen, die gesondert ausgewertet wurden. Für numerische Antworten wurden entsprechende Felder vorgesehen. Alle Angaben beziehen sich jeweils auf die verwertbaren Items der Erhebungsbögen. Nicht ermittelbare Parameter

2 Patientengut und Methoden

wurden gesondert in die Datenerfassung aufgenommen oder als unbekannt gekennzeichnet.

Die deskriptive Statistik erfolgte ebenfalls mit Microsoft Excel Version 14.1.0. Zu den deskriptiv aufgeführten Daten zählten die stetigen, intervallskalierten Variablen des Mittelwerts, der Standardabweichung, sowie die Minimal- und Maximalwerte. Für nominal- und ordinalskalierte Variablen wurden die absoluten und relativen Häufigkeiten aufgeführt.

Neben der rein deskriptiven Auswertung wurde für die Häufigkeitsangaben zusätzlich eine Berechnung des 95 Prozent Konfidenzintervalls (95% KI) durchgeführt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde somit auf $\alpha=0,05$ festgelegt. Die Berechnung erfolgte mithilfe des Instituts für Epidemiologie und Medizinische Biometrie der Universität Ulm, ebenfalls mit Microsoft Excel Version 14.1.0. Da die erfassten Zahlenwerte immer nur in der Nähe der tatsächlichen Erwartungswerte liegen, dient die Berechnung des Konfidenzintervalls dazu, mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% den Bereich anzugeben, in denen der echte Wert lokalisiert ist. Dies dient einer besseren Einschätzung der ermittelten Werte.

Weitere mathematische Test wurden nicht angewandt.

2.5 Antrag an die Ethikkommission

Da die vorliegende Studie Forschungsarbeiten am Patienten beinhaltet, wurde bei der Ethikkommission der Universität Ulm am 20.05.2010 ein Antrag auf Beurteilung und Genehmigung der Studie gestellt. Der Antrag wurde durch die Ethikkommission genehmigt. Dem Studienleiter wurde beim weiteren Verlauf der Studie freie Hand gelassen. Eine erneute Vorstellung wurde nicht gefordert.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeines

In der hier vorgestellten Studie wurde versucht, Parameter zu identifizieren, die mit einer VRF in Verbindung stehen. Dabei wurde untersucht, welche Hinweise sich auf eine VRF in der speziellen Anamnese, in Röntgenaufnahmen und in einer klinischen Untersuchung ergeben können. Dies sollte auch dazu dienen, Faktoren zu erkennen, die sich prädisponierend auf eine VRF auswirken, auch mit dem Ziel, dass diese in Zukunft vermieden werden können. Zusätzlich dazu sollte überprüft werden, inwieweit vertikale Wurzelfrakturen mit einem bestimmten Ereignis in der Historie, mit Besonderheiten der Behandlung oder mit funktionellen Begebenheiten des Zahns in Verbindung zu bringen sind, bzw. ob bestimmte Begebenheiten an wurzelfrakturen Zählen gehäuft auftreten.

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich dabei stets auf eine Gesamtzahl von 114 (100%) verwertbaren Erhebungsbögen. Dabei wurden insgesamt elf Zähne (10%) mit vertikalen Wurzelfrakturen und 103 (90%) nicht wurzelkanalfrakturierte Zähne gefunden. Zu letzteren wurden auch sieben Zähne (6%) gezählt, bei denen eine VRF weder sicher diagnostiziert, noch mit Sicherheit ausgeschlossen werden konnte. Bei 96 Zähnen (84%) lag mit hinreichender Sicherheit keine VRF vor. Da nur zweifelsfreie Fälle in die Gruppe der Zähne mit VRF aufgenommen werden sollten, wurden die sieben fraglichen Zähne für die weitere Auswertung der Gruppe der nicht frakturierten Zähne zugerechnet.

Im Folgenden werden die Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Wurzellängsfrakturen und soziodemographischen Faktoren (Geschlecht, Alter), Besonderheiten der durchgeführten endodontischen und

postendodontischen Behandlungsmaßnahmen, Röntgenbefunden und schließlich den Ergebnissen der klinischen Untersuchung analysiert. In der Auswertung beziehen sich Prozentangaben jeweils auf die verwertbaren Items eines Erhebungsbogens. Nicht ermittelbare Parameter wurden nicht in die Datenerfassung aufgenommen, oder als unbekannt gekennzeichnet.

3.2 Diagnose der vertikalen Wurzelfrakturen

3.2.1 Gesicherte vertikale Wurzelfrakturen

Im Zuge der Studie konnten an elf der 114 erfassten wurzelkanalbehandelten Zähne vertikale Wurzelfrakturen sicher nachgewiesen werden. Dies entspricht einem relativen Anteil von 10%. An sieben Zähnen (6%) konnte eine vertikale Wurzelfraktur nicht sicher ausgeschlossen werden, da eine notwendige explorative Abklappung der Gingiva, die erforderlich ist, um eine VRF sicher nachweisen zu können, von den Studienteilnehmern abgelehnt wurde. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Anzahl frakturierter und nicht frakturierter Zähne.

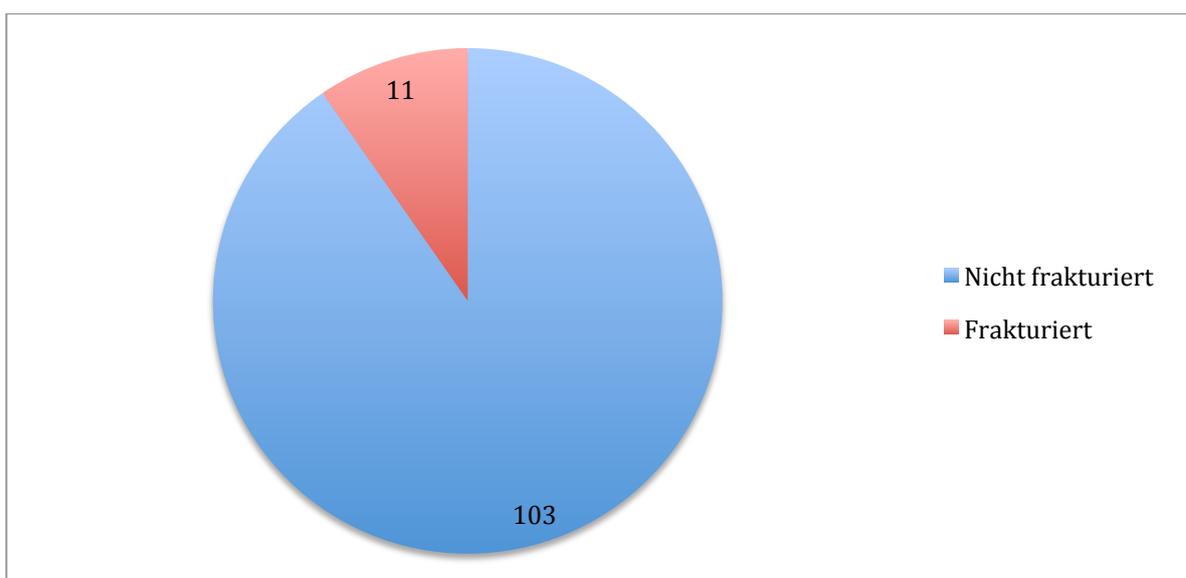


Abb. 6: Anzahl nicht frakturierter und frakturierter wurzelkanalbehandelter Zähne

Bezogen auf die Gesamtzahl der elf wurzelkanalfrakturierten Zähne ergibt sich die aus Abbildung 7 ersichtliche Verteilung dieser elf Frakturen auf die nachuntersuchten Zahngruppen.

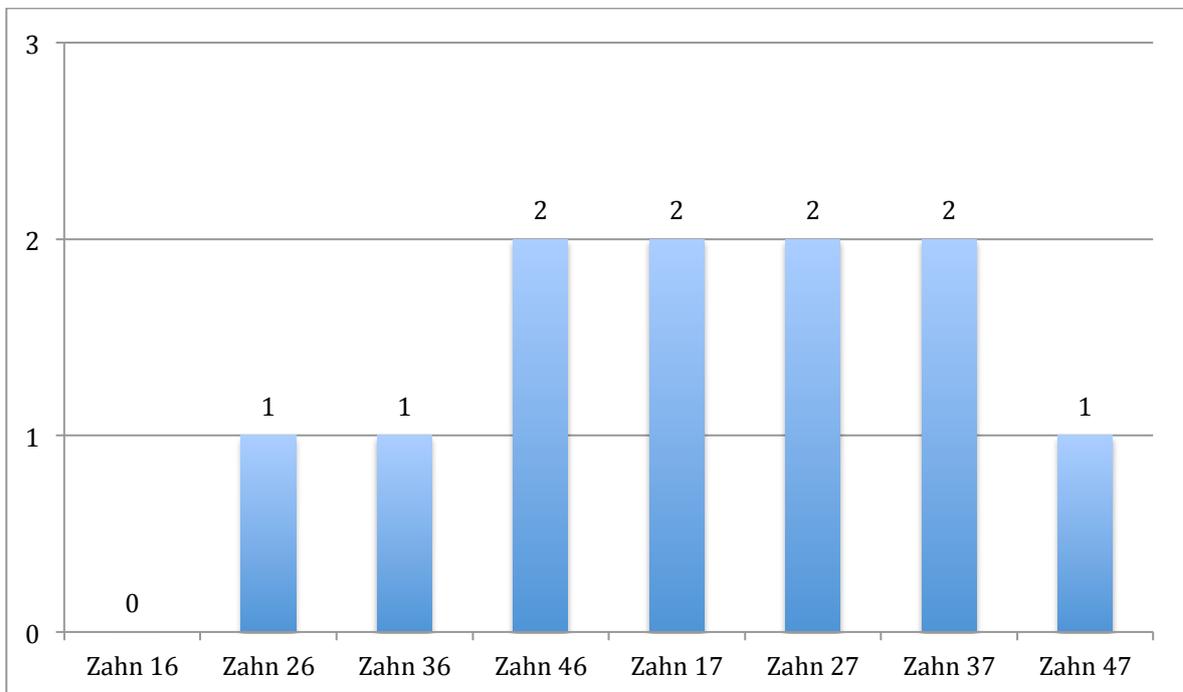


Abb. 7: Verteilung der elf vertikalen Wurzelfrakturen auf die dazugehörigen Zähne

Auf die ersten Molaren im Ober- sowie Unterkiefer entfielen dabei vier der elf Frakturen (36%). Dem gegenüber entfielen sieben der elf VRF (64%) auf die zweiten Molaren im Ober- sowie Unterkiefer.

Bezogen auf den jeweiligen Kiefer konnte ermittelt werden, dass sechs der elf Frakturen (55%) im Unterkiefer und fünf der elf Frakturen (45%) im Oberkiefer lokalisiert waren.

3.2.2 Verdachtsfälle auf das Vorliegen einer VRF in Röntgenaufnahmen sowie klinischen Untersuchung

Nach Auswertung aller zur Verfügung stehenden Röntgenaufnahmen der Studienteilnehmer konnte bei zehn der 114 Zähne (9%) ein Verdacht auf das Vorliegen einer VRF geäußert werden. Im Zuge der klinischen Untersuchung,

sowie anhand von Einträgen in der Patientenakte konnten abschließend vier dieser zehn Verdachtsfälle als VRF verifiziert werden. Sechs Fälle wurden aufgrund nicht sicher verifizierbarer Frakturen zur Gruppe nicht frakturierter Zähne gezählt. Es war somit möglich, bei vier von elf vertikalen Wurzelfrakturen bereits aus den Röntgenaufnahmen einen deutlichen Hinweis auf das Vorliegen einer VRF zu erhalten.

Im Verlauf der klinischen Nachuntersuchung konnte an 18 Zähnen durch verschiedene Items innerhalb des Erhebungsbogens ein Verdacht auf das Vorliegen einer VRF gestellt werden. In neun dieser 18 Fälle war es möglich, entweder im weiteren Verlauf der klinischen Untersuchung, oder anhand von Akteneinträgen eine VRF sicher zu verifizieren. In den andern neun Fällen konnte eine VRF nicht sicher bestätigt werden. Daher wurden diese Fälle zur Gruppe nicht frakturierter Zähne gezählt. Es war somit möglich neun der elf vertikalen Wurzelfrakturen anhand der klinischen Untersuchung zu diagnostizieren.

Bei 96 Zähnen ergab sich sowohl klinisch als auch radiologisch kein Verdacht auf das Vorliegen einer VRF. Diese 96 Zähne wurden somit der Gruppe nicht frakturierter Zähne hinzugefügt.

3.3 Zusammensetzung und Charakterisierung des Studienkollektivs (Individuen, Zähne)

3.3.1 Soziodemographische Faktoren

Ausgewertet wurden die Einflüsse von Alter und Geschlecht auf die Verteilung von frakturierten und nicht frakturierten Zähnen.

3.3.1.1 Geschlecht

Die 114 in die Studie aufgenommenen Zähne stammten von insgesamt 84 Studienteilnehmern. Der Anteil an Frauen lag mit 51% (n = 43) nur gering über dem der Männer mit 49% (n = 41). Bei den Frakturen jedoch war die Verteilung mit 36% Frauen (n = 4) gegenüber 74% Männern (n = 7) deutlich auf der Seite der Männer. Ein geringerer relativer Unterschied ergab sich bei den Studienteilnehmenden ohne Wurzelfraktur, mit einem Frauenanteil von 54% (n = 41) und einem Männeranteil von 46% (n = 35). Bei der Auswertung der weiteren Faktoren wurde nicht weiter nach dem Geschlecht der Studienteilnehmer differenziert.

3.3.1.2 Alter

Eine Auswertung der Altersstruktur der Studienteilnehmer ergab keinen deutlichen Unterschied zwischen den beiden zu vergleichenden Gruppen, wie aus Tabelle 4 ersichtlich. In beiden Gruppen lag der Mittelwert aller 84 Teilnehmer bei rund 55 Jahren.

Tab. 4: Zusammenhang zwischen dem Alter der Studienteilnehmenden und dem Auftreten von Wurzellängsfrakturen (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimalwert, Max = Maximalwert)

	Frakturiert (n=11)	Nicht frakturiert (n=73)	Gesamt (n=84)
MW (±SD)	55 (±14,3) Jahre	54,5 (±13) Jahre	55 (±13,1) Jahre
Median (Min-Max)	57 (33-72) Jahre	55,5 (22-78) Jahre	56,5 (22-78) Jahre

In der Studie waren Patienten mit einem Alter zwischen 22 und 78 Jahren vertreten. Abbildung 8 gibt eine genauere Übersicht über die Verteilung der Studienteilnehmer bezogen auf deren jeweiliges Alter.

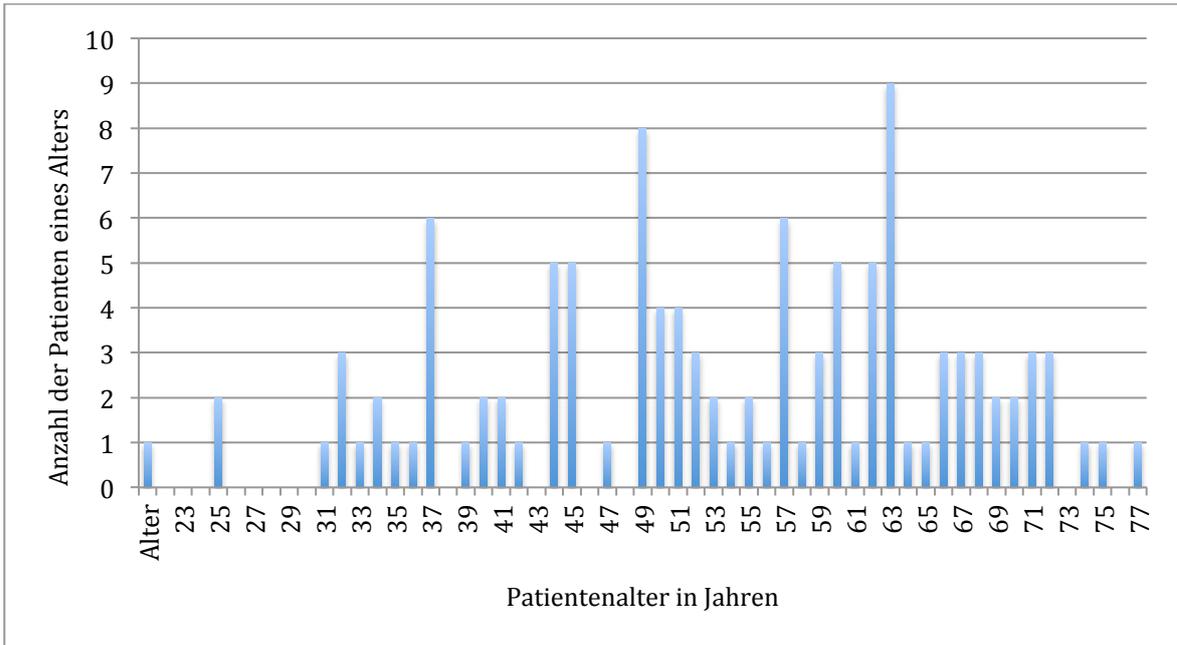


Abb. 8: Altersverteilung aller 84 Studienteilnehmer

3.3.2 Zähne

Es konnten Daten von 114 der insgesamt 589 wurzelkanalbehandelten Zähne erhoben werden. Dies entspricht einer Nachuntersuchungsquote von 19%. Eine Auflistung der 114 nachuntersuchten Zähne ist aus Abbildung 9 ersichtlich.

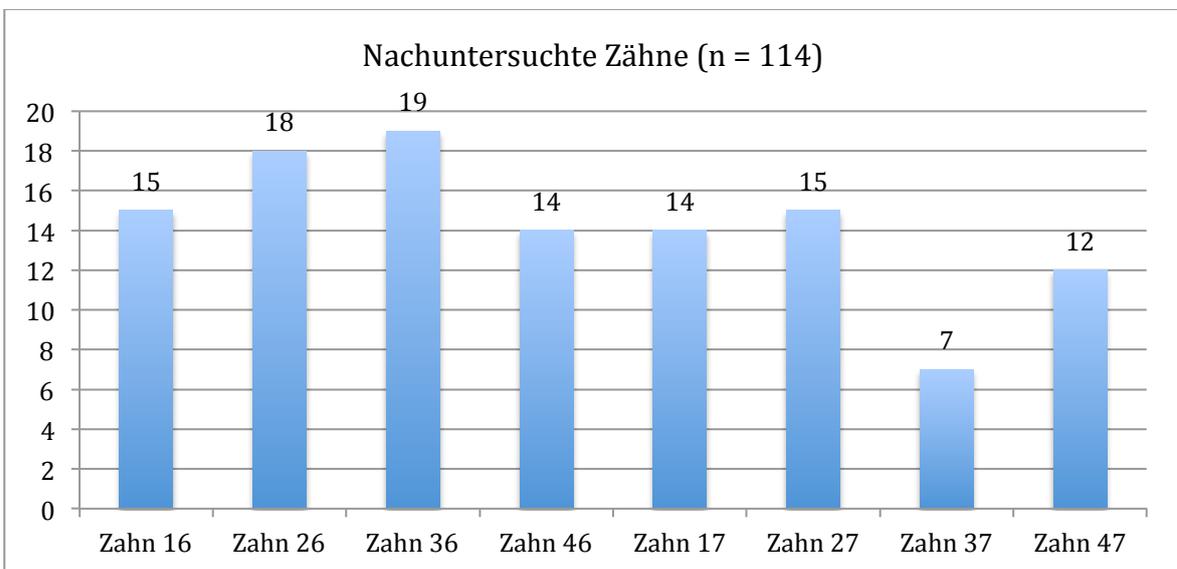


Abb. 9: Anzahl nachuntersuchter Zähne im Zeitraum vom 08.09.2010 bis 29.11.2010

3.3.2.1 Anzahl Zähne pro Studienteilnehmer

Die Tatsache, dass die untersuchten Studienteilnehmer zwischen einem und vier wurzelkanalbehandelten Zähnen aufwies führte dazu, dass sich die 114 untersuchten Zähne auf nur 84 Patienten verteilten. Allerdings brachte in der Gruppe der frakturierten Zähne kein Studienteilnehmer mehrere Zähne in die Studie ein (Tabelle 5). Es ist somit möglich, alle frakturierten Zähne im weiteren Verlauf getrennt voneinander zu betrachten.

Tab. 5: Zusammenhang zwischen der Anzahl wurzelkanalbehandelter Zähne je Studienteilnehmer und dem Auftreten von Wurzellängsfrakturen

Anzahl Zähne pro Studienteilnehmer	Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 73)	Gesamt (n = 84)
1 Zahn	11 (100%)	51 (67%)	62 (74%)
2 Zähne	0	15 (20%)	15 (18%)
3 Zähne	0	6 (8%)	6 (7%)
4 Zähne	0	1 (1%)	1 (1%)

3.3.2.2 Bereits erfolgte Extraktionen vor Studienbeginn

Fünfzehn Zähne des Untersuchungsguts wurden in die Studie aufgenommen, die bereits extrahiert worden waren, bevor der Studienteilnehmer im Rahmen der Studie nachuntersucht wurde. Dies lässt sich dadurch erklären, dass einige Studienteilnehmer mehrere Zähne mit in die Studie einbrachten, sodass auch von bereits extrahierten Zähnen noch Daten erhoben werden konnten. Von den 114 (100%) in die Studie einbezogenen Zähnen waren 15 Zähne (13%) zum Zeitpunkt der klinischen Untersuchung bereits extrahiert. Davon hatten fünf Zähne (33%) mit Sicherheit eine VRF, bei vier Zähnen (27%) konnte eine vertikale Wurzelfraktur nicht ausgeschlossen werden und bei sechs Zähnen

(40%) gab es keinen Anhaltspunkt für das Vorliegen einer Wurzelfraktur (Tabelle 6).

Tab. 6: Aufschlüsselung der bereits erfolgten Extraktionen vor Studienbeginn (VRF = vertikale Wurzelfraktur)

		Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 103)	Gesamt (n = 114)
Bereits erfolgte Extraktionen	ja	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)
	nein	6 (55%)	93 (90%)	99 (87%)
	unbekannt	0	0	0
Davon aufgrund einer VRF	ja	5 (100%)	0	5 (33%)
	nein	0	6 (60%)	6 (40%)
	möglich	0	4 (40%)	4 (27%)

3.3.2.3 Anzahl Wurzelkanäle pro Zahn

Da Molaren in der Regel mehrere Wurzeln haben und zusätzlich dazu oftmals noch mehrere Kanäle in einer Wurzel, wurden in der initialen Behandlung Zähne, mit einer verschiedenen Anzahl von Kanälen behandelt. Dabei waren die Mittelwerte bezogen auf die Anzahl behandelter Wurzelkanäle aller nachuntersuchten Zähne bei den OK 6er (n = 33) 3,2 Kanäle, den OK 7er (n = 29) 3 Kanäle und den UK 6er (n = 33) 3 Kanäle sowie den UK 7er (n = 19) 2,7 Kanäle.

Maximal wurden vier Kanäle an einem Zahn behandelt, minimal ein Kanal. Von 15 Zähnen (13%) mit vier behandelten Wurzelkanälen entfielen dabei sieben Zähne auf die OK 6er, sechs Zähne auf die UK 6er. Die restlichen beiden Zähne mit vier Wurzelkanälen verteilte sich auf die OK 7er und die UK 7er. An einem Zahn (1%), ein Zahn 47, wurde nur ein Kanal behandelt. Von den restlichen 98 Zähnen wiesen elf Zähne (10%) zwei und 87 Zähne (76%) drei behandelte Kanäle auf. Die Verteilung der Anzahl behandelter Kanäle pro Wurzelkanal

behandeltem Zahn war dabei in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne nicht deutlich unterschiedlich zur Gruppe der frakturierten Zähne. Insgesamt wurden an den 114 in die Studie aufgenommenen Zähnen 344 Wurzelkanäle behandelt.

3.3.3 Zeitspanne zwischen Abschluss der Wurzelkanalbehandlung (Wurzelkanalfüllung) und Vorstellung zur Studie

Im Median konnte ein Zeitabstand von 84 Monaten mit einem Minimalwert von fünf und einem Maximalwert von 127 Monaten zwischen der Wurzelkanalfüllung und der Vorstellung des Patienten zur Studie errechnet werden.

Bei einem maximalen Untersuchungszeitraum von somit zehn Jahren und fünf Monaten war eine breite Streuung der Zähne des Studienteilnehmerkollektivs über den gesamten Behandlungszeitraum gegeben. Abbildung 10 gibt diese Streuung über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum wieder. Dabei ist die Anzahl behandelter Zähne im jeweiligen Jahr von 2000 bis 2010 wiedergegeben. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass das Jahr 2010 aufgrund des Studienzeitpunkts nur bis Juni in die Statistik mit eingeflossen ist.

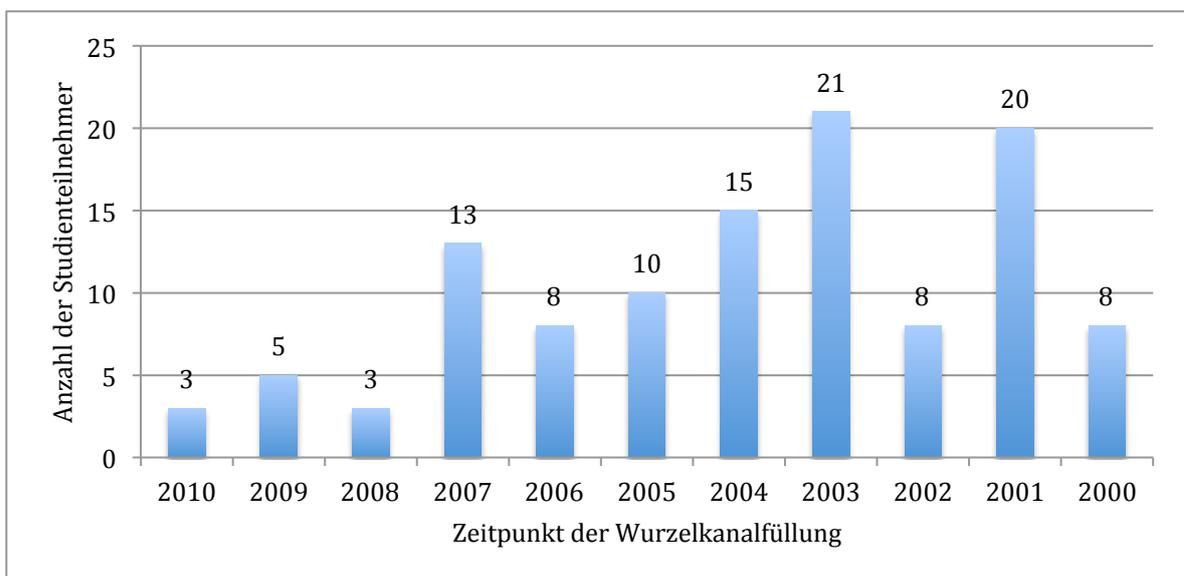


Abb. 10: Verteilung der untersuchten Zähne auf den Nachuntersuchungszeitraum

3.4 Auswertung der durchgeführten Behandlungsmaßnahmen

Der zweite Teil des Erhebungsbogens befasst sich mit der ursprünglichen endodontischen Behandlung der Zähne. Dabei gingen der präoperative Ausgangszustand sowie die gestellte Diagnose in die Auswertung ein. Zusätzlich wurden die Art der Therapie und die Zeitabstände zwischen den einzelnen Behandlungsphasen erfasst.

3.4.1 Ausgangssituation vor Behandlungsbeginn

3.4.1.1 Präoperative Befunde und Symptome (Vitalität, Perkussion, Schmerzen)

Tabelle 7 zeigt die Verteilung der Items präoperative Vitalität, präoperative Perkussionsempfindlichkeit und präoperative Schmerzen. Deutliche Unterschiede konnten hierbei insbesondere bezogen auf die präoperative Vitalität erkannt werden. Zu Beginn der Behandlung waren acht der elf frakturierten Zähne (73%), jedoch nur 45 der 103 nicht frakturierten Zähne (44%) vital. Etwas geringer war der Unterschied bezogen auf die Perkussionsempfindlichkeit. Hierbei waren präoperativ sechs der elf frakturierten Zähne (55%) nicht perkussionsempfindlich, gegenüber 43 der 103 nicht frakturierten Zähne (42%). Bei einem nicht frakturierten Zahn konnte die präoperative Vitalität und präoperative Perkussionsempfindlichkeit nicht erhoben werden.

Tab. 7: Verteilung der präoperativen Parameter Vitalität (Vipr), Perkussionsempfindlichkeit (Perk) und Schmerzen (Schmerz) an den untersuchten Zähnen

Gesamt	n = 113		1 unbekannt		
	Perk + 57%		Perk - 43%		
	Schmerz +	Schmerz -	Schmerz +	Schmerz -	
Vipr -	16%	12%	3%	23%	53%
Vipr +	27%	2%	5%	12%	47%
	43%	13%	8%	35%	Summe
Frakturiert	n = 11		1 unbekannt		
	Perk + 45%		Perk - 55%		
	Schmerz +	Schmerz -	Schmerz +	Schmerz -	
Vipr -	9%	9%	0%	9%	27%
Vipr +	27%	0%	18%	27%	73%
	36%	9%	18%	36%	Summe
Nicht frakturiert	n = 102		1 unbekannt		
	Perk + 58%		Perk - 42%		
	Schmerz +	Schmerz -	Schmerz +	Schmerz -	
Vipr -	17%	12%	3%	25%	56%
Vipr +	27%	2%	4%	11%	44%
	44%	14%	7%	35%	Summe

Was das Vorliegen präoperativer Schmerzen angeht, so konnte aus den Akten entnommen werden, dass in der Gruppe der 103 nicht frakturierten Zähne 52 Studienteilnehmer (49%) Schmerzen zu Beginn der Behandlung angaben. 50 (49%) gaben keine Schmerzen an, bei einem Studienteilnehmer (1%) konnte es nicht ermittelt werden. In der Gruppe frakturierter Zähne gaben sechs Studienteilnehmer (54%) an, präoperativ Schmerzen gehabt zu haben. Fünf Teilnehmer (45%) hatten keine Schmerzen. Somit liegen die größten Unterschiede bei einer präoperativen positiven Vitalität, gefolgt von einer negativen Perkussionsempfindlichkeit. Hierbei hatte jeweils die Gruppe frakturierter Zähne einen höheren Wert. Kaum ein Unterschied lässt sich im Vergleich der beiden Gruppen der nicht frakturierten Zähne und der frakturierten Zähne bezogen auf die präoperativen Schmerzen feststellen.

3.4.1.2 Diagnose zu Beginn der Behandlung

Die jeweils zu Beginn einer Behandlung gestellte Diagnose konnte anhand der Akte von insgesamt 113 Zähnen ermittelt werden. In einem Fall konnte die Ausgangsdiagnose aufgrund fehlender Daten nicht nachvollzogen werden.

Bei den Zähnen mit vertikalen Wurzelfrakturen lautete die Ausgangsdiagnose in neun von elf Fällen (82%) „irreversible Pulpitis“. In jeweils einem von elf Fällen (jeweils 9%) wurde die Wurzelkanalbehandlung aufgrund einer chronischen apikalen Parodontitis bzw. einer exazerbierten chronischen apikalen Parodontitis durchgeführt (Tabelle 8). Demgegenüber wurden, in der Gruppe der Zähne ohne Wurzelfrakturen, nur 42% (n = 43) aufgrund einer irreversiblen Pulpitis und 36% (n = 37) aufgrund einer chronischen apikalen Parodontitis wurzelkanalbehandelt.

Tab. 8: Relative Häufigkeit der präoperativen Diagnose bei den untersuchten endodontisch behandelten Zähnen

	Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 103)	Gesamt (n = 114)
Irreversible Pulpitis	82%	42%	46%
Exazerbierte chronischen apikale Parodontitis	9%	19%	18%
Chronischen apikale Parodontitis	9%	36%	33%
Wurzelamputation	0%	2%	2%
Unbekannt	0%	1%	1%

3.4.2 Behandlungsmodalitäten

Mit Bezug auf die Behandlungsmodalitäten konnten Daten der 114 wurzelkanalbehandelten Zähne zur Art der Aufbereitung, Größe der

Wurzelkanalaufbereitung, Insertion von Wurzelkanalstiften und Wurzelkanalschrauben und Revisionsbehandlungen erhoben werden. Tabelle 9 gibt einen Überblick über diese Items, die im Folgenden näher betrachtet werden.

Tab. 9: Zusammengefasster Überblick über die Behandlungsmodalitäten, darunter die Art der Aufbereitung, Größe der Wurzelkanalaufbereitung, Insertion von Wurzelkanalstiften und Wurzelkanalschrauben und Revisionsbehandlungen (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimalwert, Max = Maximalwert)

	Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 103)	Gesamt (n = 114)
Aufbereitungstechnik			
Manuell	9 (82%)	87 (84%)	96 (84%)
Maschinell	2 (18%)	16 (16%)	18 (16%)
Iso-Größe der Master Apikal File			
Größe bekannt	10 (91%)	87 (84%)	97 (85%)
Größe unbekannt	1 (9%)	16 (16%)	17 (14%)
MW (±SD)			
	41 (±9,2)	40 (±6,4)	41 (±6,7)
Median (Min - Max)			
	42 (30-60)	40 (25-80)	40 (25-80)
Inserierte Wurzelkanalstifte und Wurzelkanalschrauben			
Stifte	1 (9%)	4 (4%)	5 (6%)
Schrauben	1 (9%)	0 (0%)	1 (1%)
Keine Stifte oder Schrauben	9 (82%)	99(96%)	108 (95%)
Revisionsbehandlungen			
Revision	3 (27%)	27 (26%)	30 (26%)
Keine Revision	8 (72%)	76 (74%)	84 (74%)

3.4.2.1 Art der Aufbereitung

Es wurde überprüft mit welcher Technik die Wurzelkanalaufbereitung durchgeführt wurde. Hierbei wurde die maschinelle Aufbereitung der manuellen Aufbereitung gegenübergestellt. In der Auswertung hierzu konnte jedoch kaum ein nennenswerter Unterschied der relativen Häufigkeit der maschinellen zu manuellen Aufbereitung, in der Gruppe der nicht frakturierten, gegenüber der Gruppe der frakturierten Zähne, gefunden werden. Aus Tabelle 9 ist die Verteilung der beiden Techniken auf die frakturierten und nicht frakturierten Zähne abzulesen.

3.4.2.2 Größe der Wurzelkanalaufbereitung

Wie aus Tabelle 9 ersichtlich, konnte bei einem der frakturierten Zähne (9%) und bei 16 der nicht frakturierten Zähne (16%) aufgrund fehlender Angaben die Aufbereitungsgrößen nicht ermittelt werden. Welcher Kanal in einem Zahn mit welcher Feilengröße aufbereitet wurde, konnte durch die unterschiedliche Art der Dokumentation in den Patientenakten nicht exakt ermittelt und ausgewertet werden. Somit konnten nur der Mittelwert und der Median aller bekannten aufbereiteten Zähne angegeben werden. Dabei beziehen sich die Werte jeweils auf die Master Apikal File. Eine Auswertung der Final File war wegen nur 15 vorhandener Werte aus 344 versorgten Kanälen nicht sinnvoll oder aussagekräftig.

Sowohl die kleinste Wurzelkanalaufbereitung mit einem ISO Wert von 25 als auch die größte mit einem ISO Wert von 80 war jeweils in der Gruppe nicht frakturierter Zähne zu finden. Die Größe der Aufbereitung frakturierter Zähne lag zwischen ISO 30 und 60.

3.4.2.3 Inserierte Wurzelkanalstifte und Wurzelkanalschrauben

Insgesamt wurden in die Studie fünf Zähne mit im einem im Wurzelkanal verankerten Stift aufgenommen. Hierbei war in die kleinere Gruppe der frakturierten Zähne ein Stift eingebracht worden. In der deutlich größeren Gruppe der nicht frakturierten Zähne waren hingegen vier Stifte inseriert worden.

Eine Aussage welche Arten von Stiften in die Zähne inseriert wurden, konnte anhand der Akten bzw. der Röntgenaufnahmen nicht getroffen werden. Die Auswertung der Röntgenaufnahmen ergab, dass in einem wurzelkanalbehandelten Zahn in der Gruppe frakturierter Zähne eine wurzelkanalverankerte Schraube eingebracht war.

Somit lässt sich zusammenfassen, dass ein Drittel aller wurzelkanalverankerten Retentionen auf die deutlich kleinere Gruppe frakturierter Zähne entfiel. Dies ist auch aus Tabelle 9 ersichtlich, die die relative Häufigkeit von Stiften und Schrauben in beiden Gruppen gegenüberstellt.

3.4.2.4 Revisionsbehandlungen

Sowohl in der Gruppe der frakturierten, als auch in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne, wurde bei rund einem Viertel der Zähne eine Revision der bestehenden Wurzelkanalbehandlung durchgeführt. Dabei ist wie in Tabelle 9 erkennbar, kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen zu erkennen. In der Gruppe frakturierter Zähne erfolgte eine Revisionsbehandlung in 27% der Fälle, demgegenüber in 26% der Fälle in der Gruppe nicht frakturierter Zähne.

3.4.3 Zeitabstände zwischen den einzelnen Behandlungsphasen

Berücksichtigt wurden folgende Zeitabstände:

a: zwischen Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung

b: zwischen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung

c: zwischen Wurzelkanalfüllung und definitiver restaurativer Versorgung

Tabelle 10 stellt die Mittelwerte, mit zugehöriger Standardabweichung, sowie den Median mit Minimal- und Maximalwerten dar, die im Folgenden näher besprochen werden. Insgesamt fiel auf, dass in einzelnen Fällen sehr lange Zeitspannen von mehr als 36 Wochen bzw. mehr als 40 Monaten zwischen den einzelnen Behandlungsschritten vorgekommen sind. Der überwiegende Anteil der Behandlungen wurde jedoch in relativ kurzen Zeitabständen durchgeführt.

Tab. 10: Zeitabstände zwischen den einzelnen Behandlungsphasen der Trepanation (Trep) bis Wurzelkanalaufbereitung (WK) in Wochen, der Wurzelkanalaufbereitung (WK) bis Wurzelkanalfüllung (WF) in Wochen und der Wurzelkanalfüllung (WF) bis zur restaurativen Versorgung (Versorgung) in Monaten (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimalwert, Max = Maximalwert)

		Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 103)	Gesamt (n = 114)
Trep - WK (Wochen)	MW (\pm SD)	3,7 (\pm 3,6)	3,9 (\pm 5,7)	3,9 (\pm 5,6)
	Median (Min-Max)	3 (0-12)	2 (0-36)	2 (0-36)
WK - WF (Wochen)	MW (\pm SD)	7,7 (\pm 9,4)	4,8 (\pm 5,2)	5,1 (\pm 5,8)
	Median (Min-Max)	6 (0-36)	3 (0-36)	3 (0-36)
WF - Versorgung (Monaten)	MW (\pm SD)	3,6 (\pm 8,7)	6,3 (\pm 8,2)	6 (\pm 8,3)
	Median (Min-Max)	1 (0-31)	2 (0-41)	1 (0-41)

3.4.3.1 Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung

In Bezug auf den Zeitabstand zwischen Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung konnte kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden (siehe Tabelle 10)

3.4.3.2 Zeitspanne zwischen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung

Eine auffällige Diskrepanz zwischen der Gruppe frakturierter und der Gruppe nicht frakturierter wurzelkanalbehandelter Zähne lässt sich in Bezug auf die Zeitspanne zwischen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung erkennen (siehe Tabelle 10). Diese lag in der Gruppe der frakturierten Zähne, mit annähernd drei Wochen mehr, um etwa 50% über der entsprechenden Zeitspanne bei den nicht frakturierten Zähnen.

3.4.3.3 Zeitspanne zwischen Wurzelkanalfüllung und restaurativer Versorgung

Umgekehrt war die Zeitspanne zwischen Wurzelkanalfüllung und restaurativer Versorgung in der Gruppe der frakturierten Zähne mit durchschnittlich 3,6 Monaten deutlich kürzer als in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne mit durchschnittlich 6,3 Monaten (siehe Tabelle 10). Abbildung 11 zeigt einen genauen Überblick über die Zeitspanne zwischen Wurzelkanalfüllung und restaurativer Versorgung aller 114 wurzelkanalbehandelten Zähne in Dreimonatsschritten

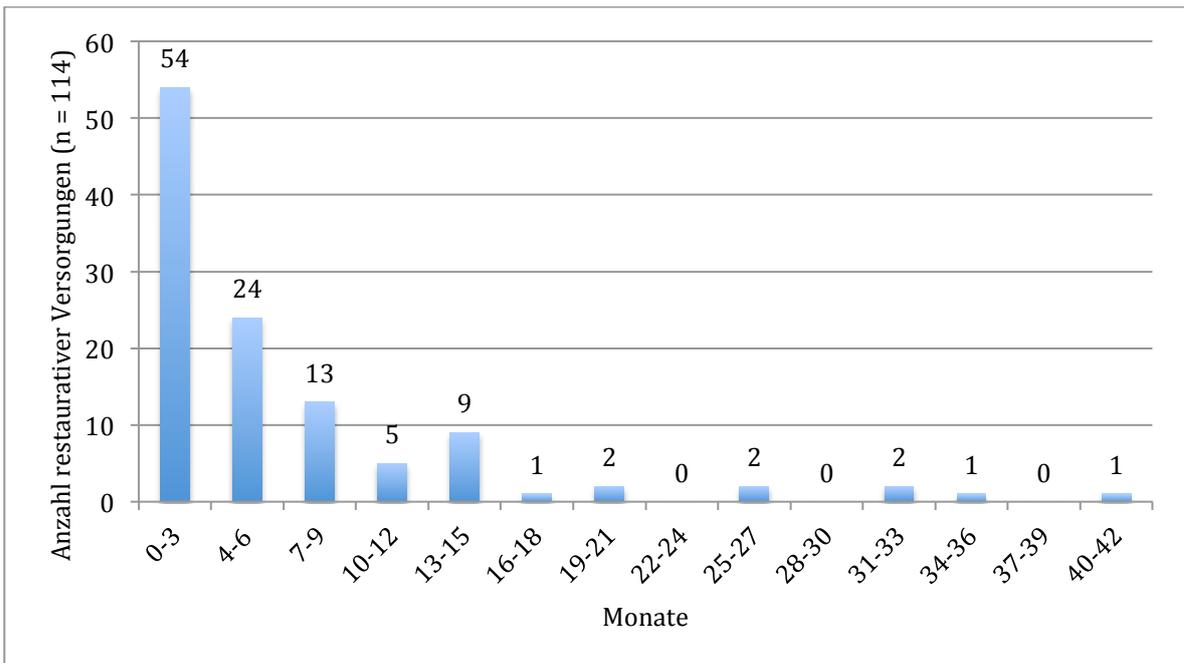


Abb. 11: Zeitspanne zwischen Wurzelkanalfüllung und restaurativer Versorgung der 114 wurzelkanalbehandelten Zähne (Dreimonatsschritte)

3.5 Auswertung der Röntgenaufnahmen

Der hier ausgewertete dritte Teil des Erhebungsbogens befasst sich mit den vorhandenen Röntgenaufnahmen der Studienteilnehmer. Dabei wurde zunächst auf die Röntgenaufnahme der Abfüllkontrolle unter folgenden Punkten eingegangen:

- a: Wandständigkeit
- b: Homogenität
- c: Abstand der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex
- d: In welchem Umfang in mm² gegebenenfalls überfüllt wurde

Im Anschluss daran erfolgte eine Auswertung aller zur Verfügung stehende Röntgenaufnahmen der Studienteilnehmer. Dies betraf demzufolge präoperative Ausgangsaufnahmen vor der Wurzelkanalbehandlung (Kategorie a), Aufnahmen nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung (Kategorie b) und Verlaufskontrollaufnahmen (Kategorie c) nach folgenden Parameter:

e: Aufhellungen

f: Diskontinuitäten innerhalb der Zahnwurzel

g: Separation von Wurzelfragmenten

h: Fehlende Wandständigkeit der Wurzelkanalfüllung im Vergleich zur Abfüllkontrollaufnahme

i: Radioluzenz neben verankerten Stiften

j: Verbreiterter Parodontalspalt

k: Treppenförmige Knochendefekte

l: V-förmige Knochendefekte

Tabelle 11 gibt einen Gesamtüberblick über die Auswertung aller ausgewerteten Parameter auf Röntgenaufnahmen. Zu beachten gilt es dabei, dass nicht von allen Studienteilnehmenden Verlaufskontrollaufnahmen der wurzelkanalbehandelten Zähne angefertigt wurden. Aus diesem Grund standen eine Gesamtzahl von 114 Ausgangsaufnahmen (Kategorie a), 114 Aufnahmen nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung (Kategorie b) und 77 Aufnahmen aus Verlaufskontrollen (Kategorie c) zur Verfügung. Von Letzteren entfielen elf Aufnahmen auf die frakturierten und 66 auf nicht frakturierte Zähne. Somit konnte von allen frakturierten Zähnen eine Verlaufskontrollaufnahme ausgewertet werden, jedoch nur von 66 (64%) der nicht frakturierten Zähne. Alle weiteren Werte beziehen sich dementsprechend auf die 114 Röntgenaufnahmen der Kategorie a und b bzw. auf die 77 Aufnahmen der Kategorie c.

3 Ergebnisse

Tab. 11: Übersichtstabelle über alle ausgewerteten Parameter der Röntgenaufnahmen. Teil 1 zeigt die o.g. Parameter a bis d der Abfüllkontrollaufnahmen, Teil 2 zeigt die o.g. Parameter e-l der Kategorien a, b und c. (Abkürzung: WF = Wurzelkanalfüllung, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimalwert, Max = Maximalwert)

Teil 1		Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 103)	Gesamt (n = 114)	
Wandständigkeit der WF	ja	10 (91%)	87 (84%)	97 (85%)	
	nein	1 (9%)	15 (15%)	16 (14%)	
	unbekannt	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)	
Homogenität der WF	ja	9 (82%)	75 (73%)	84 (74%)	
	nein	2 (18%)	27 (26%)	29 (25%)	
	unbekannt	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)	
Abstand der WF zum Apex (mm)	bekannt	11 (100%)	102 (99%)	113 (99%)	
	unbekannt	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)	
	MW	1,2	0,8	0,9	
	SD	1,6	1	1,1	
	Median	0,5	0,5	0,5	
	Min	0	0	0	
	Max	5	6	6	
Überfüllte Wurzelkanäle	ja	3 (27%)	23 (22%)	26 (23%)	
	nein	8 (73%)	80 (78%)	88 (77%)	
Teil 2					
Aufhellung apikal	Präoperativ (Kategorie a)	ja	5 (45%)	75 (73%)	80 (70%)
		nein	6 (55%)	28 (27%)	34 (30%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	6 (55%)	65 (63%)	71 (62%)
		nein	5 (45%)	38 (37%)	43 (38%)
	Verlaufskontroll- aufnahmen (Kategorie c)	ja	5 (45%)	16 (24%)	21 (27%)
		nein	6 (55%)	50 (76%)	56 (73%)
Aufhellung lateral	Präoperativ (Kategorie a)	ja	4 (36%)	26 (25%)	30 (26%)
		nein	7 (64%)	77 (75%)	84 (74%)

3 Ergebnisse

	Nach WF (Kategorie b)	ja	4 (36%)	25 (24%)	29 (25%)
		nein	7 (64%)	78 (76%)	85 (75%)
	Verlaufskontroll- aufnahmen (Kategorie c)	ja	3 (27%)	5 (8%)	8 (10%)
		nein	8 (73%)	61 (92%)	63 (90%)
Aufhellung interradikulär	Präoperativ (Kategorie a)	ja	2 (18%)	22 (21%)	24 (21%)
		nein	9 (82%)	81 (79%)	90 (79%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	3 (27%)	21 (20%)	24 (21%)
		nein	8 (73%)	82 (80%)	90 (79%)
	Verlaufskontroll- aufnahmen (Kategorie c)	ja	3 (27%)	14 (21%)	17 (22%)
		nein	8 (73%)	52 (79%)	60 (78%)
Diskontinuität	Präoperativ (Kategorie a)	ja	1 (9 %)	0 (0%)	1 (1%)
		nein	9 (91%)	103 (100%)	113 (99%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
		nein	11 (100%)	102 (99%)	113 (99%)
	Verlaufskontroll- aufnahmen (Kategorie c)	ja	2 (18%)	2 (3%)	4 (5%)
		nein	9 (82%)	64 (98%)	73 (95%)
Separation	Präoperativ (Kategorie a)	ja	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
		nein	11 (100%)	103 (100%)	114 (100%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
		nein	11 (100%)	103 (100%)	114 (100%)
	Verlaufskontroll- aufnahmen (Kategorie c)	ja	3 (27%)	0 (0%)	3 (4%)
		nein	8 (73%)	66 (100%)	74 (96%)
Verlust der Wandständigkeit im Vergleich zur Abfüllkontrollaufnahme		ja	2 (18%)	3 (5%)	5 (6%)
		nein	9 (82%)	63 (95%)	72 (94%)

Radioluzenz neben verankerten Stiften		ja	1 (9 %)	0 (0%)	1 (1%)
		nein	9 (91%)	66 (100%)	76 (99%)
Verbreiteter Parodontalspalt	Präoperativ (Kategorie a)	ja	4 (36%)	42 (41%)	46 (40%)
		nein	7 (64%)	61 (59%)	68 (60%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	6 (55%)	32 (31%)	38 (33%)
		nein	5 (45%)	71 (69%)	76 (67%)
	Verlaufskontrollaufnahmen (Kategorie c)	ja	6 (55%)	18 (27%)	24 (31%)
		nein	5 (45%)	48 (73%)	53 (69%)
Treppenförmige Defekte	Präoperativ (Kategorie a)	ja	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
		nein	11 (100%)	103 (100%)	114 (100%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
		nein	11 (100%)	103 (100%)	114 (100%)
	Verlaufskontrollaufnahmen (Kategorie c)	ja	1 (9 %)	1 (2%)	2 (3%)
		nein	9 (91%)	65 (98%)	75 (97%)
V-förmige Defekte	Präoperativ (Kategorie a)	ja	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
		nein	11 (100%)	102 (99%)	113 (99%)
	Nach WF (Kategorie b)	ja	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
		nein	11 (100%)	102 (99%)	113 (99%)
	Verlaufskontrollaufnahmen (Kategorie c)	ja	1 (9 %)	2 (3%)	3 (4%)
		nein	9 (91%)	64 (97%)	74 (96%)

3.5.1 Abfüllkontrollaufnahmen

Bei 97 der 114 in die Studie aufgenommenen Zähne (85%) konnte eine wandständige Wurzelkanalfüllung festgestellt werden. Dagegen waren 16 Zähne (14%) nicht wandständig abgefüllt. Einen Unterschied gab es bezogen

auf die zwei untersuchten Gruppen. So waren zehn der elf frakturierten Zähne (91%) wandständig abgefüllt gegenüber 87 der 114 nicht frakturierten Zähne (84%) (siehe Tabelle 11 Teil 1)

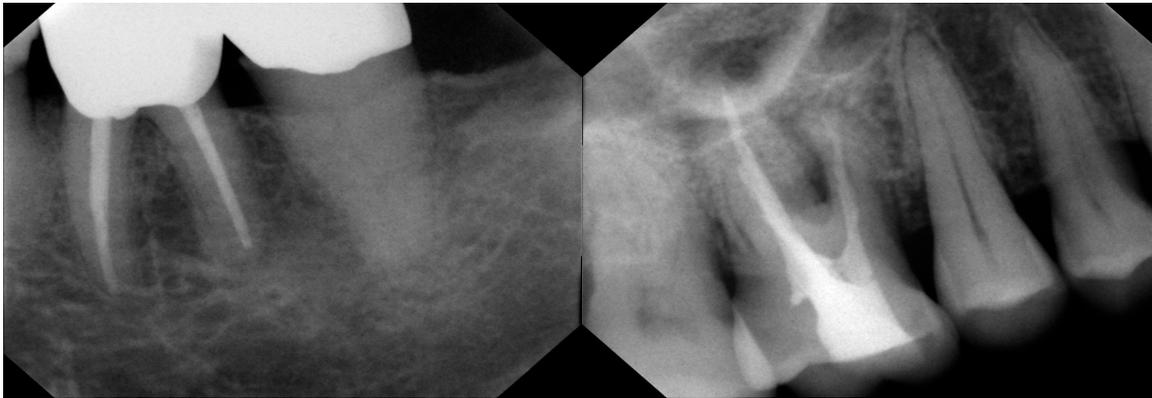


Abb. 12: Exemplarische Röntgenaufnahmen einer wandständig abgefüllten Wurzelkanalfüllung (links) und einer nicht wandständig abgefüllten Wurzelkanalfüllung (rechts)

In Bezug auf die Homogenität der Wurzelkanalfüllung konnte ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen festgestellt werden. Von den elf frakturierten Zähnen wiesen neun Zähne (82%) eine homogene Wurzelkanalfüllung auf, gegenüber 76 von 114 nicht frakturierten Zähnen (74%) (siehe Tabelle 11 Teil 1).



Abb. 13: Exemplarische Röntgenaufnahmen einer homogen abgefüllten Wurzelkanalfüllung (links) und einer nicht homogen abgefüllten Wurzelkanalfüllung (rechts)

Als Variablen bei der Abfüllkontrolle wurden nicht nur die Wandständigkeit und Homogenität erfasst, sondern auch der Abstand der WF zum röntgenologischen Apex und falls überfüllt wurde, wie stark überfüllt wurde. Hier konnte in 113 Fällen (99%) der Abstand der WF zum röntgenologischen Apex bestimmt werden. In einem Fall (1%) war eine Bestimmung nicht möglich. Wie aus Tabelle 11 ersichtlich, betrug der Abstand durchschnittlich 0,9mm (SD $\pm 1,1$ mm). Im Median lag dieser Wert bei 5,5mm mit einem Minimalwert von 0mm und einem Maximalwert von 6mm. Zwischen der Gruppe frakturierter Zähne und der Gruppe nicht frakturierter Zähne konnte nur ein geringer Unterschied festgestellt werden.

Insgesamt wiesen 26 Zähne (23%) eine zu lange WF auf, wobei relativ mehr frakturierter Zähne überfüllt waren, als nicht frakturierter Zähne (siehe Tabelle 11 Teil 1). In der Gruppe frakturierter Zähne waren es drei der elf wurzelkanalbehandelten Zähne (27%) gegenüber 23 der 103 nicht frakturierten Zähne (22%).

3.5.2 Weitere Röntgenaufnahmen

3.5.2.1 Aufhellungen

Bei der Beurteilung der Röntgenaufnahmen wurden drei verschiedene Arten von Aufhellungen erfasst: apikale (Abbildung 14), laterale (Abbildung 15) und interrädikuläre Aufhellungen (Abbildung 16).

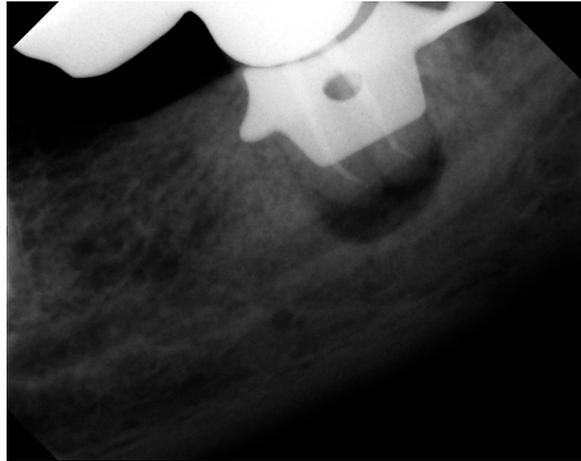


Abb. 14: Exemplarische Röntgenaufnahme einer apikalen Aufhellung eines Unterkiefer 6er



Abb. 15: Exemplarische Röntgenaufnahme einer lateralen Aufhellung eines Unterkiefer 6er (mesiale Wurzel)

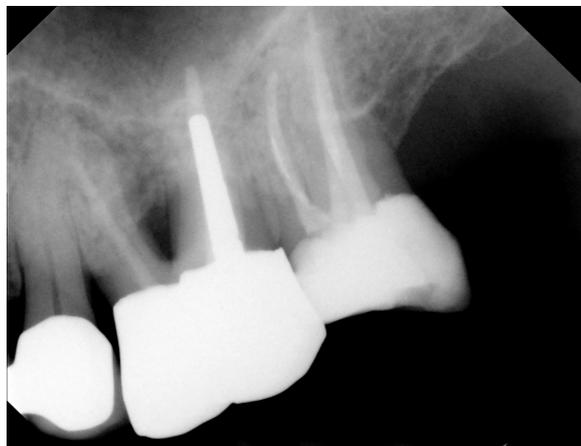


Abb. 16: Exemplarische Röntgenaufnahme einer interradikulären Aufhellung eines Oberkiefer 6er

Wie aus Tabelle 11 Teil 2 ersichtlich lag der Anteil aller drei Gruppen von Aufhellungen initial höher als nach Wurzelkanalbehandlung und auch höher als bei den Verlaufskontrollen. Abbildung 17 gibt einen Überblick über die Häufigkeit von Aufhellungen in der Gruppe frakturierter und der Gruppe nicht frakturierter Zähne sowie im Gesamtkollektiv aller Zähne.

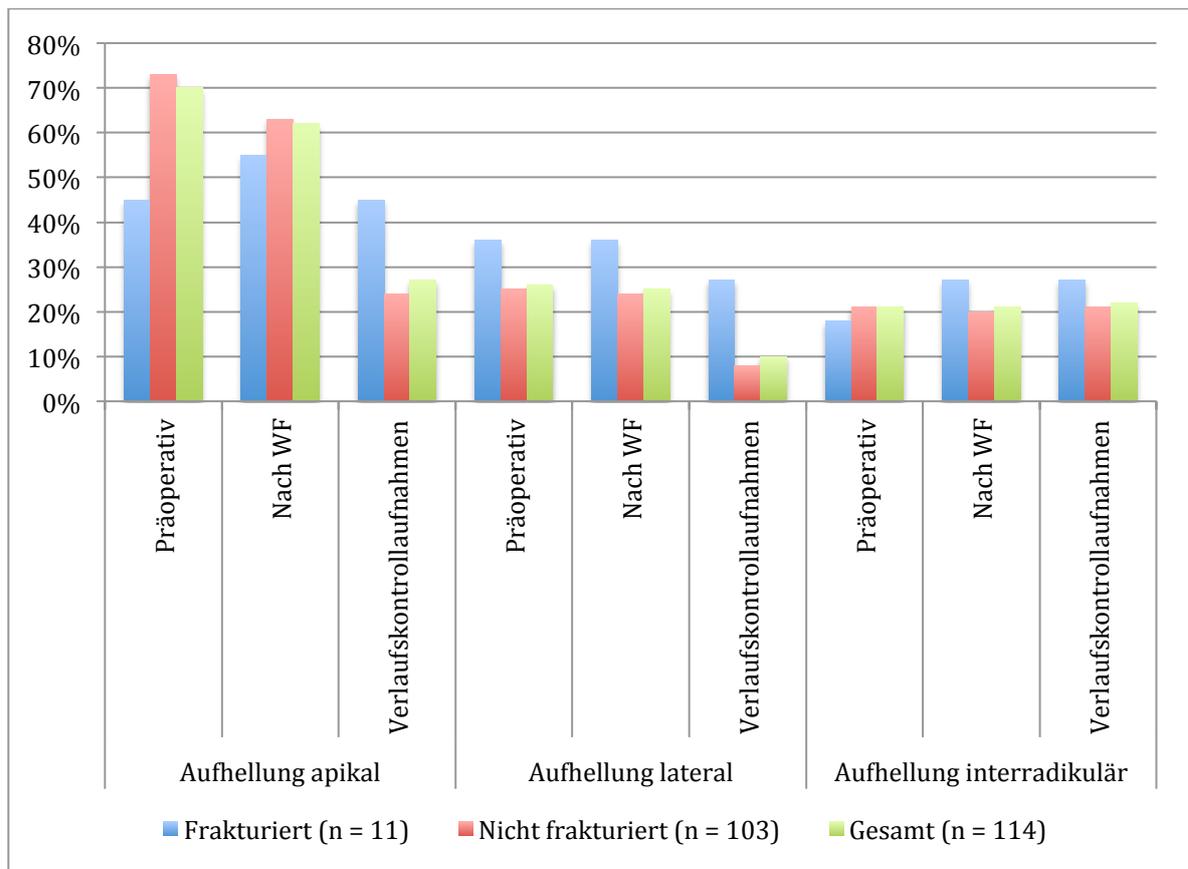


Abb. 17: Relativer Anteil der verschiedenen Aufhellungen (WF = Wurzelkanalfüllung)

Unter allen nachuntersuchten und auf Röntgenaufnahmen erfassten Zähnen ergab sich folgendes Bild der Verteilung verschiedener Aufhellungen in den Röntgenaufnahmen. Mit initial fünf aus elf (45%) apikalen, vier aus elf (36%) lateralen und zwei aus elf (18%) interradi­kulären Aufhellungen wurzelkanalbehandelter Zähne wurde jeweils in der Gruppe der frakturierten Zähne ein deutlich höherer Wert ermittelt, als in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne. Besonders auffällig war dieser Wert bei den apikalen und

lateralen Aufhellungen. Verglichen mit den nicht frakturierten Zähnen zeigten frakturierte Zähne somit deutlich häufiger Aufhellungen, vor allem bei Verlaufskontrollaufnahmen.

Apikale Aufhellungen wurden initial bei insgesamt 80 Zähnen (70%) festgestellt. Dieser Wert sank nach der WF auf 62% und erreichte 27% bei Verlaufskontrollen.

Laterale Aufhellungen waren insgesamt weniger häufig. Initial wiesen 26% der Zähne laterale Aufhellungen auf. Dieser Wert sank zunächst auf 25% nach erfolgter WF und danach auf 10% in Verlaufskontrollen.

Im Gegensatz dazu blieb der Anteil interradiärer Aufhellungen über den gesamten Zeitraum mit 21% bzw. 22% nahezu konstant.

Vor allem bei apikalen und lateralen Aufhellungen konnte in der Gruppe nicht frakturierter Zähne jeweils ein starker Rückgang der Aufhellungen über die Zeit dargestellt werden. Dabei sank die Häufigkeit apikaler Aufhellungen zwischen der initialen Röntgenaufnahme und der Kontrollaufnahme um 49%, der Wert lateraler Aufhellungen im gleichen Zeitraum um 28%. Der Anteil interradiärer Aufhellungen blieb über den entsprechenden Zeitraum nahezu konstant.

3.5.2.2 Diskontinuitäten innerhalb der Zahnwurzel

Betrachtet man die Röntgenaufnahmen mit der Fragestellung nach möglichen Diskontinuitäten innerhalb der Zahnwurzel, ergab sich, dass bei den frakturierten Zähnen eine Diskontinuität initial in einem Fall, nach WF in keinem Fall und bei Verlaufskontrollaufnahmen in zwei Fällen zu erkennen war (siehe Tabelle 11 Teil 2). Auch in der Gruppe nicht frakturierter Zähne

konnten Diskontinuitäten festgestellt werden. Dies betraf die Verlaufskontrollaufnahmen, in denen zwei Zähne (3%) mit einer Diskontinuität erfasst wurden.



Abb. 18: Exemplarische Röntgenaufnahme einer Diskontinuität innerhalb der mesialen Wurzel des Oberkiefer 7er (mesiale Wurzel)

3.5.2.3 Separation von Fragmenten innerhalb der Zahnwurzel

Insgesamt konnten drei Zähne mit einer Separation von Fragmenten (Abbildung 19) innerhalb der Wurzel gefunden werden (siehe Tabelle 11 Teil 2). Alle drei Fälle betrafen frakturierte Zähne und wurden auf Verlaufskontrollaufnahmen diagnostiziert. Somit wiesen drei der elf frakturierten Zähne (27%) eine radiologisch diagnostizierbare Separation innerhalb einer ihrer Wurzeln auf.



Abb. 19: Exemplarische Röntgenaufnahme einer Separation der mesialen Wurzel des Oberkiefers 7er

3.4.2.4 Fehlende Wandständigkeit im Vergleich zur Abfüllkontrollaufnahme

Bezogen auf alle nachuntersuchten Zähne, konnten bei insgesamt fünf Zähnen (6%) ein Verlust der Wandständigkeit der WF im Zeitraum zwischen der Abfüllkontrollaufnahme und einer zu einem späteren Zeitpunkt angefertigten Verlaufskontrollaufnahme gefunden werden (siehe Tabelle 11 Teil 2). Dieses Item konnte sowohl in der Gruppe nicht frakturierter Zähne ($n = 3$; 5%), wie auch in der Gruppe frakturierter Zähne ($n = 2$; 18%) dargestellt werden. Abbildung 20 zeigt einen solchen Verlust der Wandständigkeit zwischen zwei Röntgenaufnahmen.



Abb. 20: Exemplarische Röntgenaufnahme des Verlusts der Wandständigkeit zwischen zwei Röntgenaufnahmen eines Oberkiefer 6er (mesiale Wurzel)

3.4.2.5 Radioluzenz neben im Wurzelkanal verankerten Stiften und Schrauben

Zusammengefasst wurden fünf Wurzelkanalstifte und eine Wurzelkanalschraube identifiziert, siehe Tabelle 11 Teil 2.

Vier Wurzelkanalstifte waren in der Gruppe nicht frakturierter Zähne inseriert. Auf die Gruppe frakturierter Zähne entfielen ein Wurzelkanalstift und die Wurzelkanalschraube. Bei der Befundung der Verlaufskontrollaufnahmen konnte lediglich ein Zahn mit einer Radioluzenz neben einer Wurzelkanalschraube (Abbildung 21) in der Gruppe der fraktureierten Zähne gefunden werden. Sowohl bei den vier nicht fraktureierten Zähnen mit Wurzelkanalstiften, als auch bei dem einen Wurzelkanalstift in der Gruppe frakturierter Zähne ließ sich in keinem Fall eine Radioluzenz neben dem Stift nachweisen.

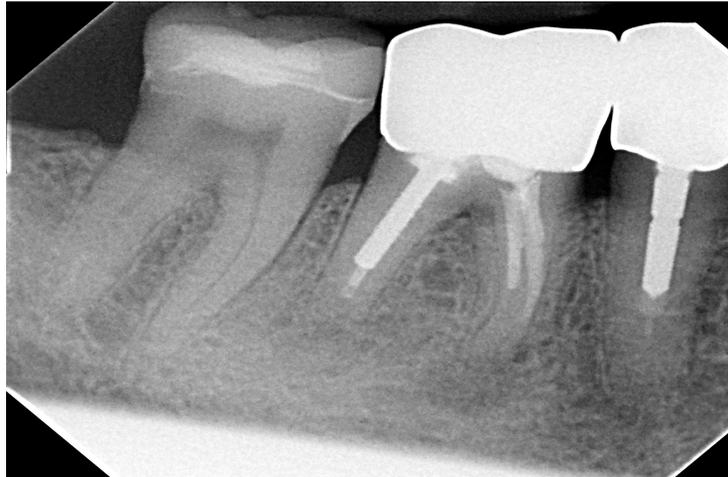


Abb. 21: Exemplarische Röntgenaufnahme einer Radioluzenz neben einer im Wurzelkanal verankerten Schraube an einem Unterkiefer 6er (distale Wurzel)

3.5.2.6 Verbreiteter Parodontalspalt

Sowohl in der Gruppe der frakturierten als auch der Gruppe nicht frakturierter Zähne konnten zu allen drei Zeitpunkten der Röntgenaufnahmen verbreiterte Parodontalspalten nachgewiesen werden (siehe Tabelle 11 Teil 2). Abbildung 22 zeigt die Verteilung in den unterschiedlichen Gruppen und zu den verschiedenen Zeitpunkten.

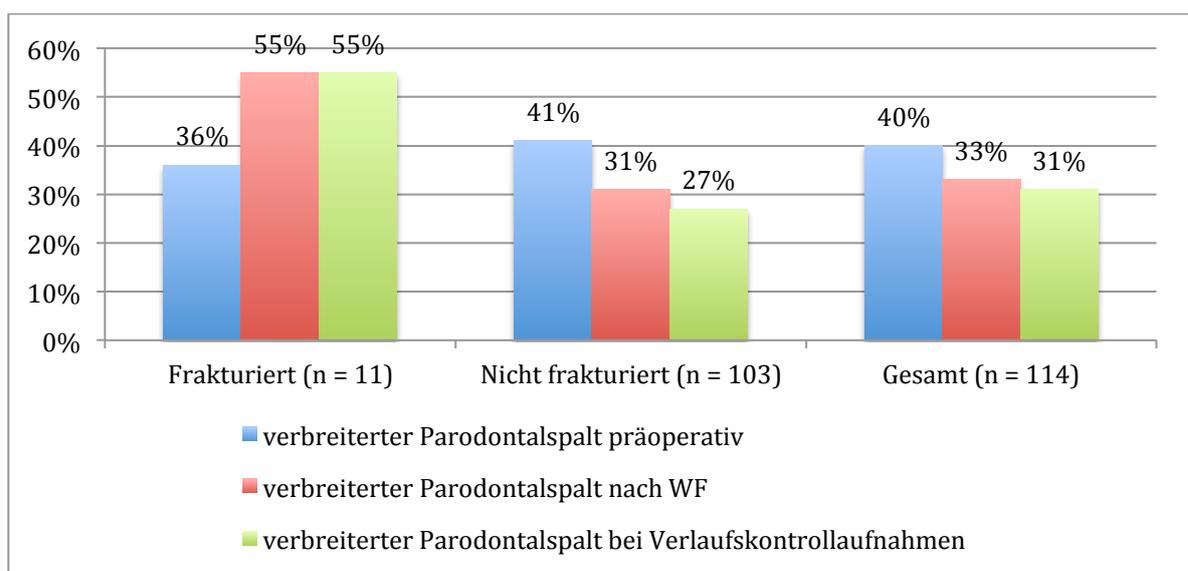


Abb. 22: Verbreiterte Parodontalspalten in Röntgenaufnahmen (WF = Wurzelkanalfüllung)

Bei Verlaufskontrollaufnahmen nahm die Häufigkeit verbreiteter Parodontalspalten, in der Gruppe nicht frakturierter Zähne, von initial 42 aus 103 Zähnen (41%) auf 18 aus 64 Zähnen (27%) ab. Demgegenüber nahm die Häufigkeit verbreiteter Parodontalspalten in der Gruppe der frakturierten Zähne von initial vier aus elf (36%) auf sechs aus elf (55%) Zähnen mit verbreiterten Parodontalspalten nach erfolgter WF, bzw. bei Verlaufskontrollaufnahmen zu.

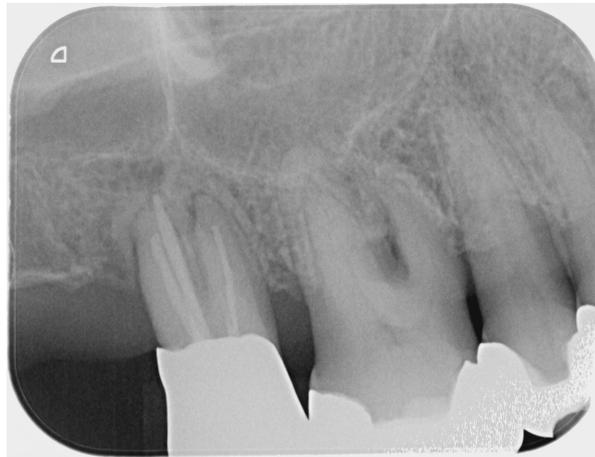


Abb. 23: Exemplarische Röntgenaufnahme eines verbreiterten Parodontalspalts eines Oberkiefer 7er (distale Wurzel)

3.5.2.7 Treppenförmige und V-förmige Knochendefekte auf Röntgenaufnahmen

Im Zuge der Datenerhebung konnten sowohl treppenförmige wie auch V-förmige Knochendefekte diagnostiziert werden (siehe Tabelle 11 Teil 2). Der Anteil treppenförmiger Defekte war mit je einem Defekt an frakturierten, sowie einem Defekt an nicht frakturierten Zähnen relativ gering. V-förmige Defekte konnten in insgesamt drei Fällen erfasst werden. Zwei davon an nicht frakturierten und einer an frakturierten Zähnen. Abbildung 24 stellt jeweils ein Beispiel eines solchen Defekts auf Röntgenaufnahmen dar.



Abb. 24: Exemplarische Röntgenaufnahme, links eines treppenförmigen Knochendefektes (Unterkiefer 6er mesiale Wurzel) und rechts eines V-förmigen Knochendefektes (Unterkiefer 6er mesiale Wurzel)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Knochendefekte vor allem in der Gruppe frakturierter Zähne zu finden sind. Verglichen mit nicht frakturierten Zähnen kommen die Defekte in dieser Gruppe fast doppelt so häufig vor.

3.6 Auswertung der klinischen Untersuchung

Der hier ausgewertete vierte Teil des Erhebungsbogens befasst sich mit der klinischen Untersuchung der Studienteilnehmer. Dabei wurde zunächst auf die Auswertung folgender anamnestisch erhobener Punkte eingegangen:

- a: Knacken während der Behandlung
- b: Unwohlsein mit dem endodontisch behandelten Zahn
- c: Aufbissempfindlichkeiten am endodontisch behandelten Zahn
- d: Lockerung von Restaurationen

Im Anschluss daran erfolgte eine Auswertung der im Zuge der klinischen Untersuchung erhobenen Befunde unter folgenden Parametern:

- e: Parodontaler Screening Index (PSI) und parodontale Diagnose
- f: Funktionelle Belastung des wurzelkanalbehandelten Zahns

- g: Kariöse Läsionen am wurzelkanalbehandelten Zahn
- h: Restaurative Versorgung des wurzelkanalbehandelten Zahns
- i: Zusammenhang zwischen Frakturhäufigkeit und prothetischen
Versorgungen
- j: Antagonisten zu den endodontisch behandelten Zähnen
- k: Stellung des Zahns innerhalb der Zahnreihe
- l: Perkussionsbefund des wurzelkanalbehandelten Zahns
- m: Lockerungsgrad des wurzelkanalbehandelten Zahns
- n: Fisteln am wurzelkanalbehandelten Zahn
- o: Klinisch diagnostizierbare Frakturspalten
- p: Auffällige Sondierungstiefen am wurzelkanalbehandelten Zahn
- q: V-förmige Knochendefekte am wurzelkanalbehandelten Zahn

Tabelle 12 gibt einen Gesamtüberblick über die Auswertung aller klinischen Parameter. Da wie unter 3.3.2.2 beschrieben, 15 Zähne bereits vor Teilnahme der Studienteilnehmer an der Studie extrahiert wurden, konnten folglich diese Items des Erhebungsbogens an diesen Studienteilnehmern nicht erhoben werden und wurden als „unbekannt“ in die Auswertung mit aufgenommen.

Tab. 12: Übersichtstabelle über alle ausgewerteten Parameter der klinischen Nachuntersuchung. Teil 1 zeigt die o.g. Parameter a bis d der anamnestisch erhobenen Daten. Teil 2 zeigt die o.g. Parameter e bis q der klinischen Untersuchung (Abkürzungen: AM = Amalgamfüllung, BG = Brückenglied, CO = Kompositfüllung, GI = Gussinlay, GK = Gusskrone, GT = Gussteilkrone, KI = Keramikinlay, KK = Keramikkrone, KT = Keramikteilkrone, PV = Provisorium)

Teil 1		Frakturiert (n = 11)	Nicht frakturiert (n = 103)	Gesamt (n = 114)
Knacken bei der Behandlung	ja	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	nein	10 (91%)	102 (99%)	112 (98%)
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	2 (2%)

3 Ergebnisse

Unwohlsein mit dem Zahn	ja	2 (18%)	15 (15%)	17 (15%)
	nein	8 (73%)	87 (84%)	95 (83%)
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	2 (2%)
Aufbissempfindlichkeiten	ja	1 (9%)	10 (10%)	11 (10%)
	nein	9 (82%)	92 (89%)	101 (89%)
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	2 (2%)
Lockerung von Restaurationen	ja	0 (0%)	5 (5%)	5 (4%)
	nein	10 (91%)	97 (94%)	107 (94%)
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	2 (2%)
Teil 2				
Parodontitis	ja	2 (18%)	44 (43%)	46 (40%)
	nein	9 (82%)	58 (56%)	67 (59%)
	unbekannt	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
Eckzahnführung	ja	4 (36%)	27 (26%)	31 (27%)
	nein	6 (55%)	74 (72%)	80 (70%)
	unbekannt	1 (9%)	2 (2%)	3 (3%)
Gruppenführung	ja	6 (55%)	74 (72%)	80 (70%)
	nein	4 (36%)	27 (26%)	31 (27%)
	unbekannt	1 (9%)	2 (2%)	3 (3%)
Vorkontakte	ja	0 (0%)	7 (7%)	7 (6%)
	nein	6 (55%)	86 (83%)	92 (81%)
	unbekannt	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)
Schliffacetten	ja	1 (9%)	26 (25%)	27 (24%)
	nein	5 (45%)	67 (65%)	72 (63%)
	unbekannt	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)
Kariöse Läsionen	ja	1 (9%)	7 (7%)	8 (7%)
	nein	5 (45%)	86 (83%)	91 (80%)
	unbekannt	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)
Restaurationen	PV	5 (45%)	29 (28%)	34 (30%)
	KK	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
	KI	1 (9%)	0 (0%)	1 (1%)
	GT	0 (0%)	11 (11%)	11 (10%)
	GK	1 (9%)	46 (45%)	47 (41%)
	GI	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
	CO	3 (27%)	14 (14%)	17 (15%)
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	2 (2%)

3 Ergebnisse

Teil einer prothetischen Versorgung	ja	1 (9%)	14 (14%)	15 (13%)
	nein	10 (91%)	89 (86%)	99 (87%)
	unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Brückenpfeiler	ja	1 (9%)	12 (12%)	13 (11%)
	nein	10 (91%)	91 (88%)	101 (89%)
	unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Halteelement für Prothesen	ja	0 (0%)	2 (2%)	2 (2%)
	nein	11 (100%)	101 (98%)	112 (98%)
	unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Antagonisten	ja	10 (91%)	95 (92%)	105 (92%)
	nein	1 (9%)	8 (8%)	9 (8%)
	unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Restauration der Antagonisten	nativ	4 (40%)	15 (16%)	19 (18%)
	AM	0 (0%)	10 (11%)	10 (10%)
	BG	0 (0%)	4 (4%)	4 (4%)
	CO	3 (30%)	13 (14%)	16 (15%)
	GI	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
	GK	2 (20%)	41 (43%)	43 (41%)
	GT	1 (10%)	6 (6%)	7 (7%)
	KI	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
	KK	0 (0%)	1 (1%)	1 (1%)
	KT	0 (0%)	3 (3%)	3 (3%)
Endständig	ja	4 (36%)	41 (40%)	45 (39%)
	nein	7 (64%)	62 (60%)	69 (61%)
	unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Perkussionsempfindlichkeit	positiv	2 (18%)	4 (4%)	6 (5%)
	negativ	6 (55%)	89 (86%)	95 (83%)
	unbekannt	3 (27%)	10 (10%)	13 (11%)
Lockerung	ja	3 (27%)	35 (34%)	38 (33%)
	nein	4 (36%)	59 (57%)	63 (55%)
	unbekannt	4 (36%)	9 (9%)	13 (11%)
Fistel	ja	2 (18%)	1 (1%)	3 (3%)
	nein	5 (45%)	93 (90%)	98 (86%)
	unbekannt	4 (36%)	9 (9%)	13 (11%)
Sichtbarer Frakturspalt	ja	4 (36%)	0 (0%)	4 (4%)
	nein	3 (27%)	93 (90%)	96 (84%)

	unbekannt	4 (36%)	10 (10%)	14 (12%)
Tastbarer Frakturspalt	ja	4 (36%)	0 (0%)	4 (4%)
	nein	2 (18%)	93 (90%)	95 (83%)
	unbekannt	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)
Auffällige Sondierungstiefe	ja	4 (36%)	7 (7%)	11 (10%)
	nein	2 (18%)	87 (84%)	89 (78%)
	unbekannt	5 (45%)	9 (9%)	14 (12%)
V-förmiger Defekt	ja	3 (27%)	0 (0%)	3 (3%)
	nein	3 (27%)	93 (90%)	96 (84%)
	unbekannt	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)

3.6.1 Auswertung anamnestisch erhobener Daten

Bei einer Gesamtzahl von 114 zur Verfügung stehenden Zähnen konnten Daten von insgesamt 112 Zähnen (98%) anamnestisch erhoben werden. Bei zwei Zähnen (2%) war eine Erhebung nicht möglich. Jeweils ein Zahn entfiel dabei auf die Gruppe der nicht frakturierten sowie frakturierten Zähne.

3.6.1.1 Knacken während der Behandlung

Abgefragt wurde ein Knacken bzw. das Gefühl eines Auseinanderbrechens des Zahns während der Wurzelkanalbehandlung. Aus keiner der beiden Gruppen (siehe Tabelle 12 Teil 1) konnte sich ein Patient an ein solches Ereignis während der endodontischen Behandlung erinnern.

3.6.1.2 Unwohlsein mit dem Zahn

Insgesamt gaben 17 Studienteilnehmer (15%) ein gewisses Unwohlsein bis hin zu Schmerzen am endodontisch behandelten Zahn an. 15 der nicht frakturierten Zähne (15%) waren zu diesem Item positiv gegenüber zwei der frakturierten Zähne (18%), siehe Tabelle 12 Teil 1. Auch in Bezug auf die Art und Stärke des Unwohlseins konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

3.6.1.3 Aufbissempfindlichkeiten

Die Anzahl der Zähne mit Aufbissempfindlichkeiten war insgesamt sehr gering. Auf die entsprechende Frage hin gaben lediglich ein Studienteilnehmer (9%) aus der Gruppe der frakturierten Zähne und zehn Studienteilnehmer (10%) aus dem Kollektiv der nicht frakturierten Zähne eine Aufbissempfindlichkeit an den betreffenden Zähnen an (Tabelle 12 Teil 1).

3.6.1.4 Lockerung von Restaurationen

Bei fünf der 112 nachuntersuchten Zähne (4%) gaben die Patienten an, dass sich bei ihnen während des Nachuntersuchungszeitraum eine Versorgung des endodontisch behandelten Zahns gelockert hat (Tabelle 12 Teil 1). Diese Zähne befanden sich dabei alle in der Gruppe der später nicht frakturierten Zähne. Welcher Art die fünf verloren gegangenen Restaurationen waren, konnte anhand der Patientenangaben und der Akteneinträge nicht eruiert werden.

3.6.2 Auswertung im Zuge der klinischen Untersuchung erhobener Befunde

3.6.2.1 Parodontaler Screening Index und parodontale Diagnose

Gesamt konnte von 112 Patienten der Parodontale Screening Index erhoben werden. Dabei wurden in allen Sextanten Werte zwischen 0 und 4 diagnostiziert. Der Median aller erhobenen PSI-Werte betrug im ersten und zweiten Sextanten jeweils 1, im dritten Sextanten 3, im vierten Sextanten 1, im fünften Sextanten 2 und im sechsten Sextanten 1.

Insgesamt 46 der untersuchten Zähne (40%) stammten aus Dentitionen, die auf der Basis der PSI-Werte eine Parodontitis aufwiesen. Dementsprechend

gehörten 68 Zähne (60%) zu Dentitionen ohne Parodontitis. In der Gruppe der frakturierten Zähne wurde die Diagnose Parodontitis nur bei zwei der elf untersuchten Dentitionen (18%) gestellt, in der Gruppe nicht frakturierter Zähne bei 44 der untersuchten Dentitionen (43%). Alle Studienteilnehmer mit der Diagnose Parodontitis wurden über die Erkrankung aufgeklärt und zur weiteren Behandlung an die Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie verwiesen.

3.6.2.2 Funktionelle Belastung des Zahns

3.6.2.2.1 Art der Unterkieferführung

Die Art der Unterkieferführung konnte an 111 der 114 (97%) in die Studie eingeschlossenen Zähne ermittelt werden. In 31 Fällen (27%) lag eine Eckzahnführung vor. 80 der nachuntersuchten Zähne (70%) waren an einer Gruppenführung beteiligt. Mit vier aus elf Zähnen (36%) wiesen die Zähne mit Wurzelfraktur deutlich häufiger eine Eckzahnführung auf, als die Gruppe der nicht frakturierten Zähne mit 26% (n = 27). Mit sechs aus elf Fällen (55%) trat in der Gruppe frakturierter Zähne eine Gruppenführung relativ seltener auf als in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne mit 72% (n = 74). Die Gruppenführung reichte jedoch in der Gruppe frakturierter Zähne etwas weiter nach distal (OK 6er) als in der Gruppe nicht frakturierter Zähne (zwischen OK 5er und OK 6er).

3.6.2.2.2 Vorkontakte

Mit der Hilfe von Shimstock- und Okklusionsfolie konnten an sieben Zähnen (6%) Vorkontakte nachgewiesen werden. Alle Zähne mit Vorkontakten stammten aus der Gruppe der nicht frakturierten Zähne. Die genaue Verteilung der Vorkontakte ist aus Tabelle 12 Teil 2 ersichtlich. An insgesamt 15 Zähnen

konnte dieses Item nicht ermittelt werden, da die Zähne bereits vor Studienbeginn extrahiert waren. Dies betraf fünf der elf frakturierten Zähne (45%) und zehn der 103 nicht frakturierten Zähne (10%).

3.6.2.2.3 Schliffacetten

Der Status bezüglich Schliffacetten konnte an insgesamt 99 der wurzelkanalbehandelten Zähnen (87%) erfasst werden. An 15 Zähnen (13%) war dies nicht möglich. Ein Viertel aller nicht frakturierter Zähne ($n = 26$) wies Schliffacetten auf, gegenüber nur einem der elf frakturierten Zähne (9%), siehe Tabelle 12 Teil 2. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass vier der elf frakturierten Zähne (45%) bereits extrahiert und somit nicht beurteilbar waren, während von den nicht frakturierten Zähnen lediglich zehn der 103 wurzelkanalbehandelten Zähnen (10%) nicht beurteilbar waren.

3.6.2.3 Kariöse Läsionen am wurzelkanalbehandelten Zahn

An acht Zähnen (7%) wurden kariöse Läsionen nachgewiesen. Bei 91 Zähnen (80%) wurden keine kariösen Läsionen festgestellt. 15 der 114 wurzelkanalbehandelten Zähne (13%) konnten in diesem Item nicht beurteilt werden (Tabelle 12 Teil 2), da sie bereits vor Studienbeginn extrahiert waren. Der Anteil kariöser Läsionen war in der Gruppe der frakturierten Zähne mit einer Läsion (9%) ähnlich dem der Gruppe der nicht frakturierten Zähne mit sieben kariösen Läsionen (7%).

3.6.2.4 Restaurative Versorgung der wurzelkanalbehandelten Zähne

Die in der Nachuntersuchung erhobene Verteilung der verschiedenen postendodontischen Restaurationen der wurzelkanalbehandelten Zähne zeigt

einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden zu vergleichenden Gruppen, siehe auch Tabelle 12 Teil 2.

Abbildung 25 zeigt die Verteilung der verschiedenen restaurativen Versorgungen in der Gruppe frakturierter Zähne. In dieser Gruppe ist der hohe Anteil von acht Versorgungen (73%) aus Komposit als direkte Füllung oder als Provisorium zu erkennen. Dabei waren Provisorien aus Komposit mit fünf der elf restaurativen Versorgungen (45%) die häufigste Art der Restauration in der Gruppe frakturierter Zähne. Eine Versorgung konnte nicht eruiert werden (9%), die restlichen zwei Versorgungen teilen sich in jeweils eine höckerübergreifende Gusskrone (9%) und ein Keramikinlay (9%) auf.

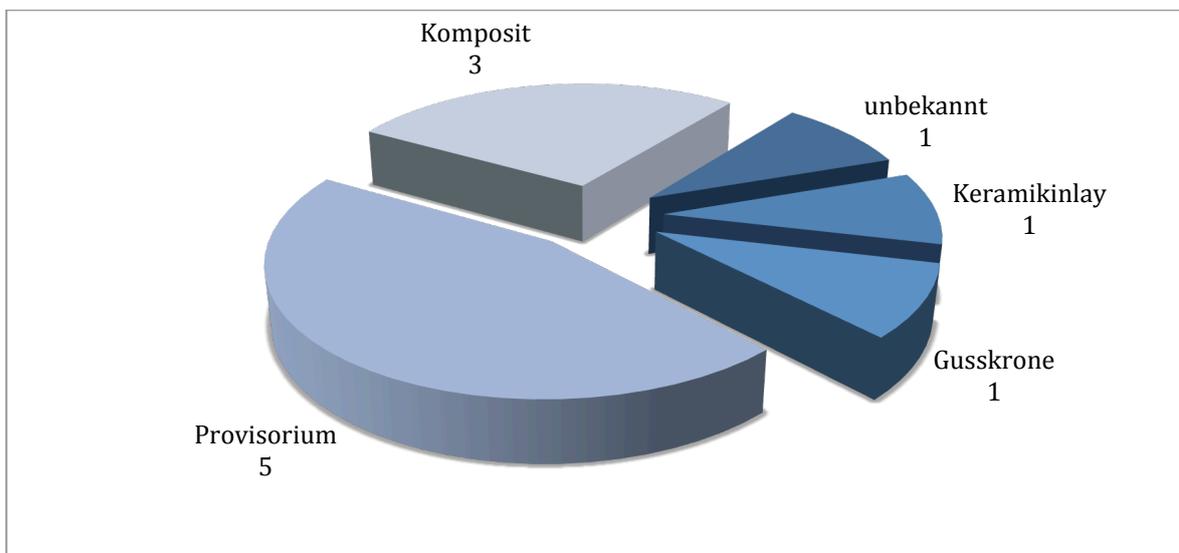


Abb. 25: Verteilung der postendodontischen Restaurationsarten in der Gruppe der fraktureierten Zähne (n = 11)

In der Gruppe nicht frakturierter Zähne konnten 102 Versorgungen (99%) eruiert werden. Dabei wurden 58 Zähne (57%) mit einer höckerübergreifenden Versorgung erfasst. Diese teilten sich in 46 Gusskronen (45%), elf Gussteilkronen (11%) und eine Keramikkrone (1%) auf. Mit 29 Restaurationen in Form von Provisorien (28%) wies die Gruppe nicht frakturierter Zähne einen deutlich geringeren Wert, verglichen mit den fraktureierten Zähnen, auf. Die restlichen 14 Versorgungen (14%) entfielen auf

Kompositfüllungen. Abbildung 26 gibt einen genauen Überblick über die Verteilung der Restaurationsarten der nicht frakturierten Zähne

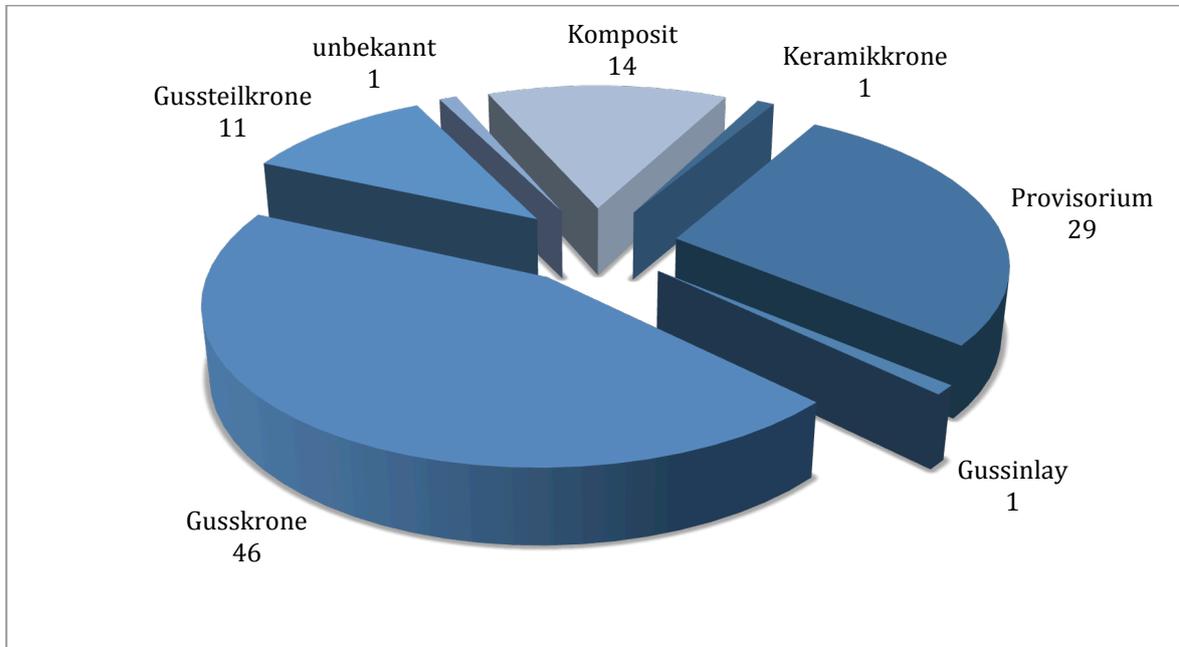


Abb. 26: Verteilung der postendodontischen Restaurationsarten in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne (n = 103)

3.6.2.5 Zusammenhang zwischen Frakturhäufigkeit und prothetischen Versorgung

Von den untersuchten endodontisch behandelten Zähnen wiesen 15 Zähne (13%) einen Zusammenhang mit einer prothetischen Versorgung auf, davon 13 (11%) in Form von Brückenfeilern und zwei als Halteelemente für Prothesen. Von den 13 endodontisch behandelten Brückenfeilern wies nur ein Zahn eine Wurzelfraktur auf. Keiner der beiden endodontisch behandelten Zähne, die als Halteelement für abnehmbaren Zahnersatz dienten, zeigte eine Wurzelfraktur. Die Verteilung der Zähne im Zusammenhang mit prothetischen Versorgung auf die Gruppe der frakturierten und die Gruppe der nicht frakturierten Zähne geht aus Tabelle 12 Teil 2 hervor.

3.6.2.6 Antagonisten

Von den 114 untersuchten Zähnen hatten 105 Zähne (92%) einen Antagonisten. Neun Zähne (8%) hatten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung keinen Antagonisten. Die Häufigkeiten in der Gruppe der frakturierten Zähne und der Gruppe nicht frakturierter Zähne war mit 91% bzw. 92% nahezu identisch.

Zusätzlich zur relativen Häufigkeit des Vorhandenseins von Antagonisten wurde deren Zustand bezüglich eventuell vorhandener Restaurationen erfasst. Hier gibt Abbildung 27 eine genaue Übersicht. Besonders zu beachten ist der relativ hohe Anteil von vier naturgesunden Antagonisten (40%), als Antagonisten zu frakturierten Zähnen. In der Gruppe der nicht frakturierten Zähne bildeten Gusskronen die häufigste Restaurationsform an den Antagonisten (n = 41; 43%). Tabelle 12 Teil 2 gibt einen Überblick über die relative und absolute Häufigkeit von Antagonisten und deren restaurativen Zustand.

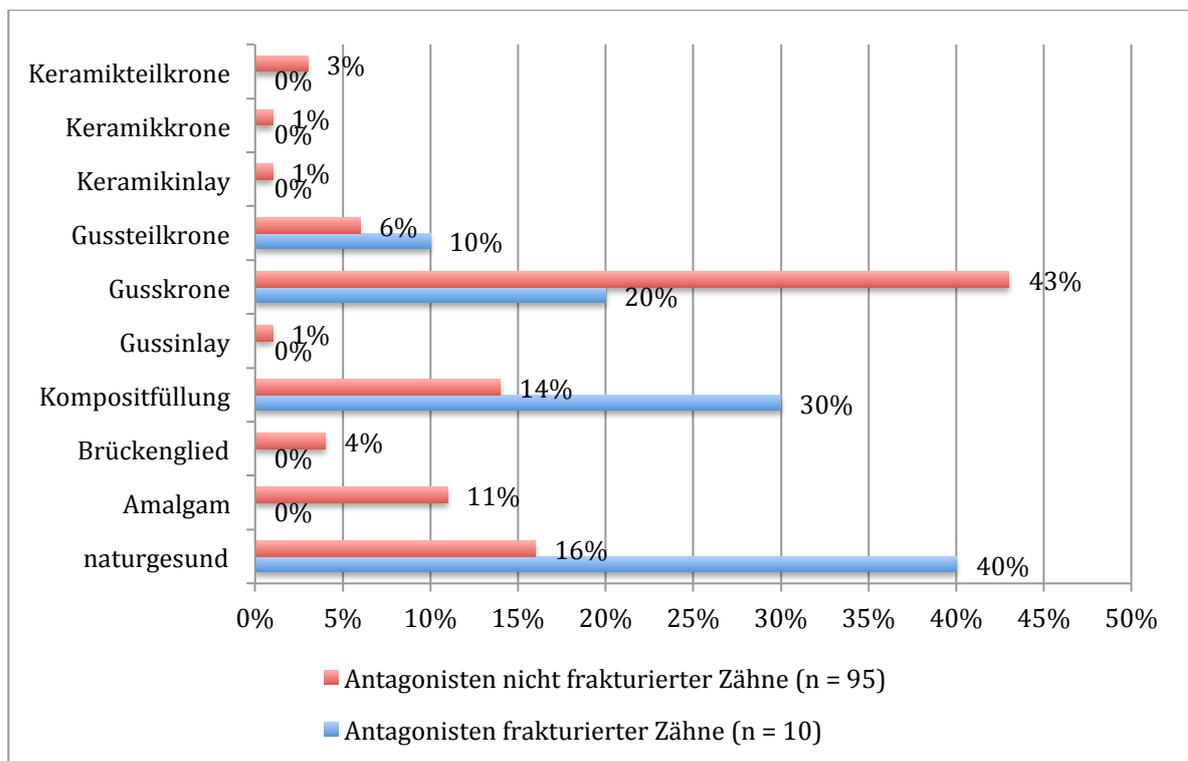


Abb. 27: Restaurationszustand der Antagonisten

3.6.2.7 Endständige Zähne

Die Mehrzahl der nachuntersuchten, wurzelkanalbehandelten Zähne (61%), stand in einer geschlossenen Zahnreihe. Von den 114 nachuntersuchten Zähnen waren 45 Zähne (39%) in ihrer Zahnreihe endständig (siehe Tabelle 12 Teil 2). Es wurden 41 endständige Zähne (39%) bei den nicht frakturierten Zähnen erhoben, gegenüber vier aus elf Zähnen (36%) in der Gruppe frakturierter Zähne.

3.6.2.8 Perkussionsbefund der wurzelkanalbehandelten Zähne

Eine Perkussionsempfindlichkeit wurde bei frakturierten Zähnen deutlich häufiger festgestellt als bei nicht frakturierten Zähnen. Die relative Häufigkeit eines positiven Perkussionsbefundes lag bei den frakturierten Zähnen bei zwei aus elf Zähnen (18%) gegenüber vier aus 103 Zähnen (4%) bei den nicht frakturierten Zähnen. Dabei ist jedoch die Zahl der unbekanntem Perkussionsbefunde zu berücksichtigen. Diese betrug drei der elf Fälle (27%) in der Gruppe frakturierter Zähne und zehn der 103 Fälle (10%) in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne. Tabelle 12 Teil 2 gibt einen Überblick über die Perkussionsbefunde in den zwei zu vergleichenden Gruppen.

3.6.2.9 Lockerungsgrad der wurzelkanalbehandelten Zähne

Zusammengefasst wiesen 38 aller untersuchten 114 Zähne (33%) einen erhöhten Lockerungsgrad auf. Von 13 Zähnen (11%) konnte kein Lockerungsgrad dokumentiert werden. Sowohl in der Gruppe der frakturierten Zähne mit drei Zähnen (27%), als auch in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne mit 35 Zähnen (34%), hatte rund ein Drittel der Zähne eine erhöhte Lockerung (Tabelle 12 Teil 2).

3.6.2.10 Fisteln an wurzelkanalbehandelten Zähnen

Eine Fistel wurde bei drei wurzelkanalbehandelten Zähnen (3%) gefunden. Dies war bei zwei Zähnen (18%) aus der Gruppe der frakturierten Zähne und bei einem Zahn (1%) aus der Gruppe der nicht frakturierten Zähne der Fall. Von 13 wurzelkanalbehandelten Zähnen (11%) konnte dieses Item nicht dokumentiert werden. Aufgeteilt auf die zwei zu vergleichenden Gruppen konnte bei vier der elf frakturierten Zähne (36%) und bei neun der 103 nicht frakturierten Zähne (9%) dieses Item nicht diagnostiziert werden. Einen Überblick über das Auftreten von Fisteln gibt Tabelle 12 Teil 2.

3.6.2.11 Klinisch diagnostizierbare Frakturspalten

Zu den klinisch diagnostizierbaren Frakturspalten gehörten in der klinischen Untersuchung zwei Arten von Frakturspalten. Auf der einen Seite die sichtbaren und auf der anderen Seite die tastbaren Frakturspalten.

Wie aus Tabelle 12 Teil 2 ersichtlich, konnten in der klinischen Untersuchung jeweils vier sichtbare und vier tastbare Frakturspalten in der Gruppe der elf frakturierten Zähne (36%) dokumentiert werden. In der Gruppe der nicht frakturierten Zähne konnten keine Frakturspalten dokumentiert werden.

Zu beachten gilt, dass an fünf der elf frakturierten Zähne (45%) und an zehn der 103 nicht frakturierten Zähne (10%) dieses Item nicht dokumentiert werden konnte, da die Zähne bereits vor Studienbeginn extrahiert waren.

3.6.2.12 Auffällige Sondierungstiefen

In der Studie wurden insgesamt elf wurzelkanalbehandelte Zähne (10%) mit auffälligen Sondierungstiefen dokumentiert. Als auffällige Sondierungstiefen wurden dabei schmale, tiefe und vor allem vestibulär gelegene Knochendefekte beim Sondieren definiert, die als Folge einer Osteolyse entlang des

Frakturspalts auftreten und sich im weiteren Verlauf in Richtung mesial und distal ausdehnen. Tabelle 12 Teil 2 zeigt die Verteilung dieser Sondierungsbefunde, aufgeteilt auf die zu vergleichenden Gruppen. Dabei wiesen vier der elf Zähne (36%) aus der Gruppe der frakturierten Zähne und sieben Zähne (7%) aus der Gruppe der nicht frakturierten Zähne einen solchen auffälligen Sondierungsbefund auf. Zu beachten gilt, dass fünf Zähne aus der Gruppe der frakturierten Zähne (45%) und zehn Zähne aus der Gruppe der nicht frakturierten Zähne (10%) in diesem Item nicht dokumentiert werden konnten.

3.6.2.13 V-förmige Knochendefekte

Insgesamt konnten unter allen 114 wurzelkanalbehandelten Zähnen drei V-förmige Knochendefekte (3%) beim Sondieren dokumentiert werden. Von 15 Zähnen (13%) konnte dieses Item nicht erhoben werden, da die Zähne bereits vor Studienbeginn extrahiert waren. Dies betraf fünf der elf Zähne aus der Gruppe der frakturierten Zähne (45%) und zehn der 103 Zähne (10%) aus der Gruppe der nicht frakturierten Zähne.

Alle drei V-förmigen Knochendefekte beim Sondieren konnten in der Gruppe der elf frakturierten Zähne nachgewiesen werden und betrafen somit 27% der Zähne dieser Gruppe. Tabelle 12 Teil 2 gibt einen Überblick über die Häufigkeit von V-förmigen Knochendefekten in den beiden Gruppen.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methode

4.1.1 Zusammenstellung der Erhebungsbögen

Bereits bei der Zusammenstellung, des in der Studie verwendeten Erhebungsbogens wurde auf eine möglichst umfangreiche spätere Datenerfassung geachtet. Zusätzlich wurde von Beginn an eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse, mit denen aus bereits vorhandenen Studien angestrebt. Limitierend dafür war jedoch die beschränkte Anzahl retrospektiver Studien über die Hintergründe von VRF. Prospektive Studien fehlen vollständig [64]. Der überwiegende Anteil der Veröffentlichungen zu VRF sind Fallbeschreibungen [81].

Der hier verwendete Erhebungsbogen wurde, in Anlehnung an eine Kohortenstudie zur Identifizierung von Risikofaktoren, bezogen auf vertikale Wurzelfrakturen, von Kramer et al. [64] erstellt. Hierfür wurde der dort verwendete Erhebungsbogen als Grundgerüst belassen und um die komplette Historie des zu untersuchenden Zahns [71,133], sowie eine Reihe weiterer, diagnostischer Parameter, darunter der klinische und röntgenologische Befund, ergänzt.

Nach allgemeiner Auffassung erweist sich die Diagnose einer VRF als äußerst schwierig [8,72,126]. Zusätzlich treten die Frakturen meist erst durch sekundäre Symptome [47,92] und zudem oft erst Jahre später in Erscheinung [33]. Größter Wert wurde daher auf die zielgerichtete Identifizierung vertikaler Wurzelfrakturen gelegt. Die auf dieses Ziel ausgerichtete Diagnostik bezog die von den Studienteilnehmenden beschriebenen Symptome, klinischen Befunde, sowie die radiologischen Befunde ein [137].

Besonderer Wert wurde auf die gesicherte klinische Diagnose einer VRF gelegt, wie sie durch diverse Autoren [61,75,81,93,101,125,133] beschrieben wurde. Obwohl die klinischen Befunde variabel sind und von der Lage der Fraktur, dem Zeitpunkt der Untersuchung, sowie von parodontalen und ossären Geweben im Bereich der Fraktur beeinflusst werden [125], gibt es eine Reihe von wiederkehrenden klinischen Symptomen einer VRF. Zu diesen charakteristischen und auch hier vom Studienteilnehmenden erfragten klinischen Symptomen einer VRF zählen unter anderem das Geräusch einer Fraktur des Zahns [101], bzw. ein Knacken während der Behandlung [47,81,93], ein gewisses Unwohlsein mit dem Zahn bis hin zu Schmerzen [25,72,81], sowie die Lockerung von Restaurationen [47] und von im Wurzelkanal verankerten Stiften [81]. Durch einen klinischen intraoralen Befund lassen sich weitere charakteristische Symptome, die auf eine VRF hindeuten, erkennen. Zu den in den Erhebungsbogen aufgenommenen und untersuchten Parametern zählen unter anderem die durch Stenner et al. 2011 [125] beschriebenen Symptome der Schwellung [25,92] an der bukkalen Seite des Zahns [125], intraorale Fisteln [106,133,136], Beschwerden bei Belastung, Abszesse [46,133], sichtbare und tastbare Frakturspalten [25,81], sowie bewegliche Frakturfragmente [8]. Besonders hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang auch auffällige Sondierungstiefen [138], vor allem in Form von V-förmigen, tiefen, in der Regel bukkal gelegenen Knochendefekten [75], die als pathognomonisch angesehen werden können [25]. Somit sind die wichtigsten Parameter zum Erkennen einer VRF gegeben, sodass eine VRF adäquat erkannt und in die Studie aufgenommen werden kann. Obwohl vertikale Wurzelfrakturen häufig keine spezifischen Anzeichen und Symptome aufweisen und daher als schwer zu diagnostizieren gelten [21], kann davon ausgegangen werden, dass durch die hier vorgenommene umfangreiche klinische Befunderhebung keine bereits vorhandenen VRF unerkannt blieben. Diese zuversichtliche Einschätzung gilt nicht oder nur bedingt für VRF, die erst

kurz vor der Untersuchung im Rahmen der Studie aufgetreten waren. Die limitierte Diagnostizierbarkeit frischer VRF [8] rührt daher, dass diese symptomfrei sind, noch keine sondierbaren Knochendefekte aufweisen und keine radiologisch sichtbaren Veränderungen zeigen.

Zusätzlich zur klinischen Diagnose einer VRF anhand eines klinischen Befunds wurde eine röntgenologische Diagnose zur Überprüfung einer VRF in die Studie integriert. Obwohl sich VRF klinisch häufig recht heterogen in ihren Symptomen darstellen, können radiologische Befunde oft spezifisch sein [81]. Eine gesicherte radiologische Diagnose ist laut Rud und Omnell [106] dennoch nur in 30% der Fälle möglich. Dies ist unter anderem beim Vorliegen zweier getrennter Wurzelfragmente [78,116,135], einer deutlich sichtbaren Frakturlinie in der Röntgenaufnahme [78,79,132] und vor allem dann, wenn diese von der Wurzellängsachse abweicht, gegeben [93]. Limitierend für die sichere Diagnose einer vertikalen Wurzelfraktur ist, dass diese in einem frühen Stadium kaum aussagekräftige Zeichen liefert [137,138]. Erst mit fortschreitender Zeit werden radiologische Befunde besser sichtbar [133]. Die bei einer VRF entstehenden parodontalen Knochendefekte hängen zudem vom Frakturverlauf ab und können somit sehr heterogen sein [8,81,93]. Dabei erscheinen die Grenzen des parodontalen Defekts zu rund 55% diffus oder definiert, aber nicht kortikalisiert [125]. In vielen Fällen ähnelt jedoch die sichtbare Radioluzenz einer VRF dem Aussehen einer Osteolyse aufgrund parodontaler Erkrankungen, wie apikalen endodontischen Läsionen oder rein parodontalen Läsionen [25,84] und dies sogar in bis zu 75% der Fälle [132]. Neben den bereits beschriebenen, sicheren Frakturzeichen gibt es eine Reihe weiterer, auf eine VRF hindeutende Zeichen in Röntgenaufnahmen, die im Regelfall auf einer Radioluzenz im Alveolarknochen entlang der Wurzel basieren [61]. Zu den wichtigsten, auf eine Fraktur hindeutende, jedoch nicht pathognomonischen Befunde zählen ein Hohlraum zwischen Wurzelfüllmaterial und Wurzelkanalwand bei zuvor suffizient abgefülltem

Wurzelkanal, die Radioluzenz neben einem im Wurzelkanal verankerten Stift und eine erhöhte Radioopazität der Wurzel aufgrund von Wurzelfüllmaterial im Frakturspalt. Weitere Anhaltspunkte auf das Vorliegen einer VRF liefern ein verbreiteter Parodontalspalt, treppenförmige Knochendefekte entlang der Zahnwurzel, apikale, laterale und interradikuläre Aufhellungen, sowie V-förmige, d.h. koronal breite und nach apikal schmaler werdende Knochendefekte [25,61,81,93,101,133,137]. Diese Parameter wurden daraufhin in den Erhebungsbogen integriert, sodass die während der Behandlung des Zahns, sowie im weiteren Verlauf angefertigte Röntgenaufnahmen entsprechend befundet werden konnten. Zusätzlich wurden der Vollständigkeit halber weitere Parameter, die eine VRF begünstigen, in den Erhebungsbogen ergänzt. So unter anderem auch der Abstand der WF zum Apex, bzw. wie weit gegebenenfalls überfüllt wurde [61,132].

Um bei einer vorhandenen Fraktur eventuelle Risikofaktoren für die Entstehung einer VRF erkennen zu können, wurde der Erhebungsbogen durch weitere Parameter ergänzt. Darunter zählte unter anderem die Historie des Zahns, die aus der Krankenakte zu entnehmen war. Besonders eingegangen wurde hierbei auf die Art der Wurzelkanalaufbereitung [51,67,138], sowie auf die Zeitabstände der Behandlung und der darauf folgenden Versorgung des Zahns [36,47,81]. Zudem wurde auf die Insertion wurzelkanalverankerter Stifte eingegangen, die einen klaren Bezug zum Auftreten von VRF aufweisen [61]. Um die im Rahmen der Studie gemessenen Sondierungstiefen besser einordnen zu können [47], erfolgte die Erhebung eines kompletten PSI und daraus abgeleitet die Festlegung einer parodontalen Diagnose, bezüglich einer möglich bestehenden Parodontitis [13]. Zusätzlich dazu wurden weitere wichtige Parameter in den Erhebungsbogen aufgenommen, die Hinweise auf eine VRF geben können. Darunter der derzeitige Perkussionszustand [25], der Lockerungsgrad des Zahns auf einer Skala von 0 bis 3 [25,132,133], das

Vorliegen von Schwellungen oder Fisteln [25,92,133] und auffällige Sondierungstiefen, speziell V-förmige Defekte [25,61,92,132] bzw. sichtbare oder auch tastbare Frakturspalten [132]. Ergänzt wurde der umfassende Erhebungsbogen anschließend durch weitere radiologische und klinische Befunde.

4.1.2 Durchführung der Studie

In dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Patientenuntersuchung. Dabei wurde zur Erhebung der Daten ein Erhebungsbogen erstellt und dieser durch den Untersucher persönlich zusammen mit den Studienteilnehmenden ausgefüllt. Mögliche Einschränkungen, wie sie sich bei einer reinen Auswertung von Krankenakten oder bei der Untersuchung von extrahierten Zähnen ergeben hätten, konnten so vermieden werden. Dies lag zum einen an der Möglichkeit der Befragung und Befundung jedes einzelnen Studienteilnehmenden und zum anderen an der klar definierten Kontrollgruppe, der nicht frakturierten Zähne.

Im zu untersuchenden Zeitraum von Januar 2000 bis einschließlich Juli 2010 wurden bei 498 Patienten insgesamt 589 Molaren endodontisch behandelt. In einem mehrstufigen Verfahren wurde jetzt versucht, die entsprechenden Patienten zu kontaktieren und zur Studie einzuladen. Hierbei war es möglich, Einladungsschreiben an 92% der Patienten zu verschicken und 46% der Patienten telefonisch zu kontaktieren. Die wichtigsten Gründe für eine Nichtteilnahme an der Studie lagen unter anderem an der limitierten telefonischen Erreichbarkeit, aufgrund nicht mehr aktueller Telefonnummern in den Krankenakten, was in erster Linie dem langen Nachuntersuchungszeitraum von zehn Jahren geschuldet war. Weitere ehemalige Patienten der Klinik hatten mittlerweile einen anderen

Hauszahnarzt bzw. wohnten zu weit entfernt, weshalb sie kein Interesse an einer Teilnahme hatten.

Mit insgesamt 114 untersuchten Zähnen betrug die Nachuntersuchungsquote 19% aller wurzelkanalbehandelter Molaren aus den zurückliegenden zehn Jahre, was als hinreichend aussagekräftig eingestuft wurde. Es konnte auch erreicht werden, dass kein bestimmter Zahn in der Nachuntersuchung besonders häufig vertreten war, sodass jeweils eine enge Korrelation zwischen der prozentualen Häufigkeit der Behandlung einzelner Zähne in der Gesamtmasse und deren Nachuntersuchungshäufigkeit besteht.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Allgemeines

Ziel dieser Studie war es, wurzelkanalbehandelte Molaren, über einen möglichst langen Zeitraum nachzuuntersuchen, um festzustellen, wie hoch die Prävalenz vertikaler Wurzelfrakturen an diesen Zähnen ist. Zudem sollte gezeigt werden, ob es bestimmte Parameter gibt, die sich begünstigend auf die Entstehung einer solchen vertikalen Wurzelfraktur auswirken.

Dazu sollte die komplette Historie des Zahns, sowie von diesem Zahn angefertigte Röntgenaufnahmen beurteilt werden und zusätzlich ein in situ Befund des Zahns am Studienteilnehmenden erhoben werden.

4.2.2 Alter und Geschlecht der Studienteilnehmenden

Alter

Das Alter des Studienteilnehmenden scheint einen deutlichen Einfluss auf die Entstehung von VRF zu haben. Dabei haben endodontisch behandelte Zähne in der Altersgruppe von Studienteilnehmenden, die älter als 50 sind, eine signifikant geringere Überlebenswahrscheinlichkeit bezogen auf VRF, die nach

5 Jahren auf $0,86 \pm 0,05$ sinkt [64]. Obwohl VRF in einer Altersspanne zwischen dem 16 bis 84 Lebensjahr auftreten [21,34,36,136], ereignen sich Frakturen zu 80% ab dem 40. Lebensjahr [17,33] und treten ab dem 50. Lebensjahr etwa 2,5 mal häufiger auf [64]. Mit einem Median von 57 Jahren liegen die hier diagnostizierten Frakturen sowohl genau im Bereich zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr, in dem die meisten Frakturen liegen [47,73,138], als auch mit einer Streuung zwischen dem 33.-72. Lebensjahr in der beschriebenen Zeitspanne. Zwar hat das Alter des Dentins einen statistisch signifikanten Einfluss auf seine physikalischen Eigenschaften [141], dennoch konnte noch kein definitiver Grund genannt werden, warum v.a. Zähne bei älteren Studienteilnehmenden frakturieren.

Geschlecht

Die Verteilung vertikaler Wurzelfrakturen nach dem Geschlecht der Studienteilnehmenden war unausgeglichen, wobei 63% der Frakturen auf Männer entfielen. Der Anteil an Männern und Frauen am Gesamtkollektiv war demgegenüber jedoch ausgeglichen. Unterstützt werden diese Angaben dadurch, dass VRF bei Männern 1,4mal häufiger gefunden wurden als bei Frauen [21]. Nach anderen Angaben treten bei Frauen sogar nur 30% der Frakturen auf [125]. Eine Erklärung hierfür können die unterschiedlichen Kaukräfte von Frauen und Männern sein. Hierbei liegt die maximale Kaukraft von Männern rund 20% über der von Frauen [100].

4.2.3 Prävalenz vertikaler Wurzelfrakturen und Verteilung innerhalb der Dentition

Obwohl vertikale Wurzelfrakturen sowohl an vitalen Zähne als auch an endodontisch behandelten Zähne beschrieben wurden [69,81], frakturieren endodontisch behandelte Zähne deutlich häufiger [59]. So entfallen 70-75% aller VRF auf endodontisch behandelte Zähne [1,36].

Mit dem Abschluss der Studie konnten aus den 114 nachuntersuchten, endodontisch behandelten Zähnen, bei insgesamt elf Zähnen gesicherte VRF nachgewiesen werden. Dies entspricht einer Prävalenz von 10%. Diese Zahl korreliert mit Studien an extrahierten, endodontisch behandelten Zähnen. Dabei wurden an 10,9% [34] bzw. 12,9% [148] der extrahierten Zähne eine VRF diagnostiziert. Dem gegenüber stehen jedoch verschiedene Studien, die übereinstimmend eine geringere Häufigkeit von Längsfrakturen mit einer leichten Schwankung zwischen 2-5% angeben [44,78,119,142]. Die in dieser Studie gefundene Prävalenz von 10% deckt sich auch nicht mit den in anderen retrospektiven Untersuchungen gefundenen Häufigkeiten. Bei 422 Zähnen einer kassenzahnärztlichen Praxis betrug die Prävalenz von Frakturen 5,7% [64]. In einer weiteren retrospektiven Studie an 460 Zähnen lag sie bei 3,69% [80].

Trotz einer akkuraten Befundung [133] ist eine sichere Diagnose einer VRF für den Behandler oft sehr kompliziert [136]. Zumeist treten VRF nicht plötzlich auf [124], sondern zeigen sich in einer Reihe länger andauernder, subjektiver Beschwerden [78,101]. Bei einer fraglichen Diagnose bleibt somit zumeist keine Alternative zur Verifikation einer VRF, als das chirurgische Abklappen der Gingiva [25,92,93], um die Zahnwurzel unter Sicht darstellen zu können. Anhand eines Minilappens kann dann die Fraktur gut sichtbar gemacht werden [81]. Da sieben Studienteilnehmende eine chirurgische Darstellung einer VRF mittels explorativer Abklappung, trotz deutlicher Hinweise auf eine VRF, ablehnten, konnte somit bei 6% aller Zähne eine VRF nicht sicher diagnostiziert werden. Daher konnten diese Zähne nicht in die Gruppe der frakturierten Zähne mit aufgenommen werden.

Sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer konnten Frakturen nachgewiesen werden, wobei 55% der Frakturen im Unterkiefer lokalisiert waren. Zwar gibt es einzelne Aussagen, nach denen VRF vermehrt im OK zu finden sind [125],

dennoch werden VRF mit bis zu 2/3 der Fälle [136] eher dem UK zugeordnet [21,47]. Im Allgemeinen sind vor allem Zähne betroffen, deren Wurzel einen geringen mesio-distalen als vestibulo-oralen Durchmesser aufweisen [132]. Insbesondere an Prämolaren, die insgesamt 52-60% aller von einer VRF betroffenen Zähne ausmachen [92,136], sowie an mesialen Wurzeln von Molaren, ist dies der Fall [25,33]. Dies stimmt mit Beobachtungen aus der Studie übereinstimmen, da neun der elf Frakturen an mesialen Wurzeln lokalisiert waren. Nur 36% der Frakturen betrafen den ersten Molaren. Demgegenüber berichten Chan et al., dass erste Molaren zweimal häufiger frakturieren als zweite Molaren [21].

4.2.4 Präoperative Befunde und Diagnosen, Zeitintervalle und Modalitäten der Behandlung

Präoperative Sensibilität und Perkussionsbefunde

In dieser Studie konnte von insgesamt 113 Zähnen eine initiale Diagnose, anhand von klinischen Beobachtungen vor Behandlungsbeginn erhoben werden. Von den später frakturierten Zähnen wiesen dabei 29% mehr Zähne eine positive Sensibilitätsprobe, gegenüber der Kontrollgruppe der nicht frakturierten Zähne auf. Auch waren von den später frakturierten Zähnen 13% weniger vor Behandlungsbeginn perkussionsempfindlich. Nur ein geringer Unterschied zwischen den beiden Gruppen konnte bei den initialen Schmerzen gesehen werden. Eine genaue Erklärung für diese Tatsache konnte nicht gefunden werden.

Endodontische Diagnose

Eklatante Unterschiede waren bezüglich der initialen Diagnose zwischen den beiden Gruppen zu erkennen. In der Gruppe frakturierter Zähne wurde zu Beginn der Behandlung in 82% der Fälle eine irreversible Pulpitis diagnostiziert. In der Gruppe der nicht frakturierten Zähne waren die Diagnosen mit 42% irreversible Pulpitis, 19% exazerbierte chronische

apikalen Parodontitis und 36% chronische asymptomatische apikale Parodontitis deutlich inhomogener. Somit konnte die Aussage anderer Autoren, wonach die initiale Pulpadiagnose für die Prävalenz einer VRF nicht von Bedeutung sei [64], nicht bestätigt werden.

Art der Wurzelkanalaufbereitung

Ungeachtet der Aufbereitungstechnik sollte immer der Morphologie der Wurzel, sowie dem Kanalverlauf Beachtung geschenkt werden [126]. Da VRF häufig iatrogen bedingt sind [25], ist darauf zu achten, dass Zähne nicht zu weit aufbereitet werden [25,36,122]. Wilcox et al. [157] konnten 1997 in diesem Zusammenhang zeigen, dass beim Füllen eine Korrelation zwischen der zunehmenden Erweiterung und dem vermehrten Auftreten vertikaler Wurzelfrakturen existiert. Es ist zudem bewiesen, dass je mehr Dentin abgetragen wird, die Widerstandskraft der Wurzel sinkt [40]. Dies betrifft vor allem das obere Wurzel Drittel [133]. Vor diesem Hintergrund ist ein Gebrauch von Gates-Glidden-Bohrern zur koronalen Erweiterung des Kanallumens während der Instrumentierung kritisch zu unterfragen [145]. Unter Beachtung der oben genannten Vorsichtsmaßnahmen können sowohl manuelle, als auch maschinelle Systeme, das Ziel einer Reinigung und Formgebung des Wurzelkanals bei der Aufbereitung erreichen [112]. Eine Unterscheidung in der Frakturhäufigkeit zwischen manuellen und maschinellen Systemen konnte weder in der Literatur, noch in dieser Studie gefunden werden.

Revisionsbehandlungen

Bereits die einmalige Instrumentierung eines Wurzelkanals schwächt die Wurzel und erhöht das Risiko des Auftreten einer VRF [24]. Im Rahmen einer Revisionsbehandlung zur Behebung von Misserfolgen aus vorherigen Behandlungen kommt es nicht nur zu einem weiteren Substanzabtrag, vielmehr werden bei der Entfernung einer vorhandenen Wurzelkanalfüllung auch höhere Kräfte eingesetzt, wodurch insgesamt die Entstehung von VRF

begünstigt wird [107]. Die Notwendigkeit einer Revision einer Wurzelkanalbehandlung sollte daher im Hinblick auf die damit verbundenen Risiken in jedem Einzelfall kritisch geprüft werden [102]. Eine erhöhte Anzahl von Revisionen konnte in der Nachuntersuchung nicht nachgewiesen werden. Bei den nicht frakturierten, wie auch bei den frakturierten Zähne betrug der Anteil rund ein Viertel. Es ist jedoch zu beachten, dass bereits frakturierte Zähne häufig nicht als endodontische Misserfolge erkannt werden und daraufhin eine Revision der Wurzelkanalfüllung durchgeführt wird [132], was als kontraindiziert angesehen werden muss.

Zeitintervalle im Verlauf der Wurzelkanalbehandlung

Zwischen den beiden Gruppen gab es keine nennenswerten Unterschiede bezogen auf die Zeitabstände a) zwischen Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung, b) zwischen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelfüllung und c) zwischen Wurzelfüllung und definitiver Versorgung. Im Gegensatz dazu zeigte die Studie eine deutlich längere Zeitspanne zwischen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung in der Gruppe der frakturierten Zähne. Dies steht im Gegensatz zu der Feststellung, dass einzelne Zeitabstände keinen Einfluss auf die Entstehung einer VRF haben sollen [64]. Es sollte daher eine möglichst kurze Zeitspanne zwischen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung angestrebt werden, da eine Überbeanspruchung der Kompensationsmechanismen des Zahns in diesem sensiblen Zeitraum als eine Ursache für VRF diskutiert wird [64]. Es gilt auch zu beachten, dass nach gängiger Lehrmeinung eine Sicherheitsspanne von sechs Monaten nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung, vor einer definitiven restaurativen Versorgung, eingeräumt werden sollte, um auch röntgenologisch einen Erfolg der Wurzelkanalbehandlung zu bestätigen [63]. Diese Zeitspanne sollte jedoch nicht deutlich überschritten werden.

Zeitpunkt des Auftretens der VRF

Eine genaue Aussage über den Zeitpunkt der Fraktur einer Zahnwurzel lässt sich nur in Ausnahmefällen treffen. Dies ist zum einen der Fall, wenn der Behandler ein deutliches Knacken während der Behandlung bemerkt, zum anderen wenn sich übermäßig viel Wurzelfüllmaterial in den Kanal einbringen lässt [93] oder eine Fraktur während der Wurzelkanalbehandlung klar sichtbar wird [81]. Ein genauer Frakturzeitpunkt konnte in dieser Studie nicht angegeben werden. Zusammengefasst wurden jedoch alle VRF in einem Zeitraum zwischen 19 Monaten und knapp zehn Jahren nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung festgestellt, mit einem Mittel von 78 Monaten. Dies stimmt mit Beobachtungen von Polson [94] und Ghera et al. [36] überein, die VRF in einem durchschnittlichen Zeitraum von 53 bis 80 Monaten nach der Wurzelkanalbehandlung feststellen konnten. Im Rahmen der Auswertung mehrerer Studien traten Frakturen in einem Gesamtzeitraum zwischen 0 und 168 Monate nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung auf [33,47,81,92].

Wurzelkanalstifte

Obwohl einzelne Autoren im Wurzelkanal verankerte Stifte nicht als Ursache für einen erhöhten Zahnverlust verantwortlich machen [5], gelten in vielen Studien im Wurzelkanal verankerte Stifte dennoch als ein wichtiger prädisponierender Faktor für die Entstehung von VRF [61,93,138]. Nach Morfis 1990 [80] lässt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Stiften und der Entstehung vertikaler Wurzelfrakturen erkennen. In diesem Zusammenhang ergab eine Auswertung von Fuss et al. 2001 [33] dass 61% der vertikal frakturierten Zähne in ihrer Studie mit einem Stift versorgt waren. Zwar konnte in dieser Nachuntersuchung ein solch hoher Wert nicht bestätigt werden, dennoch waren die vertikal frakturierten Zähne zu 18% und damit viermal häufiger als nicht frakturierte Zähne, mit einem Stift versorgt. Auch dies lässt auf einen klaren Zusammenhang zwischen im Wurzelkanal verankerten Stiften und der Entstehung vertikaler Wurzelfrakturen schließen.

Zusammenfassend gilt, dass das Ziel jeder Stiftinsertion die Schaffung einer ausreichenden Retentionsfläche für eine spätere koronale Restauration darstellen sollte [22]. Die Insertion von Stiften zur Verstärkung der Zahnwurzel ist als obsolet anzusehen [40]. Somit muss mit der Indikationsstellung für im Wurzelkanal verankerter Stifte zurückhaltend umgegangen werden. Sie sollte Situationen bei nicht ausreichendem Angebot an koronaler Zahnhartsubstanz, für die postendodontisch Versorgung vorbehalten bleiben. Insgesamt bieten lange Stifte mehr Retention als kurze, [70], bei einer nur geringfügig höheren Frakturgefahr [80]. Für die definitive Versorgung sollte ein parallelwandiger Glasfaserstift mit einem Dentin ähnlichen E-modul verwendet werden, der adhäsiv im Wurzelkanal befestigt wird [1,133]. Die Anwendung von Schrauben zur intrakanalären Verankerung stellt eine definitive Ursache für VRF da. Dies liegt daran, dass der Durchmesser der Schraube geringfügig größer ist als der des präparierten Kanals, was somit zu hohen Spannungen führt [23,132].

4.2.5 Größe der Aufbereitung und Abfülltechnik

Aufbereitungsgröße

In der ISO-Norm für Wurzelkanalinstrumente ist die Konizität des Arbeitsteils so festgeschrieben, dass der Durchmesser des Arbeitsteils eines Instrumentes pro Millimeter um 0,02mm zunimmt. ISO-genormte Wurzelkanalinstrumente weisen demnach eine Konizität von 2% auf [112]. Die Angabe der ISO-Größe ist immer der Durchmesser an der Spitze des Arbeitsteils in hundertstel Millimeter [12]. Vor diesem Hintergrund wurde die jeweilige Aufbereitungsgröße in Form der Master Apikal File erhoben, um darstellen zu können, ob frakturierte Zähne weiter aufbereitet wurden, als nicht frakturierte. Eine entsprechende Korrelation konnte jedoch nicht gefunden werden. Dies deutet darauf hin, dass die Aufbereitungsgröße allein keinen Einfluss auf VRF hat. Ein zu weites Aufbereiten und somit zu große ISO-Größe

der Master Apical File kann jedoch auf eine Schwächung der Zahnwurzel infolge eines zu starken Dentinabtrags hindeuten [51,92].

Abfülltechnik

Ziel des Abfüllens eines Wurzelkanals mit Guttapercha ist ein durchgehend dichter, wandständiger Verschluss, um eine periapikale Entzündung zu vermeiden. Dabei werden die Technik der Wurzelkanalfüllung und die damit verbundenen Kräfte als mögliche Faktoren für das Auftreten von VRF beschrieben [78]. Wie unter 1.2.4 beschrieben, stehen mehrere Methoden zur Verdichtung von Guttapercha zur Verfügung, darunter die laterale Kondensation. In diesem Zusammenhang haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass auch die zur Behandlung der Studienteilnehmer verwendete Methode der lateralen Kondensation in einem deutlichen Zusammenhang mit VRF steht [25,101,133]. So konnten Soros et al. [124] 2008 nachweisen, dass vertikal frakturierte Zähne zu 48-84% mittels lateraler Kondensation abgefüllt wurden. Im Gegensatz dazu stehen mehrere Studien, die besagen, dass die Methode der lateralen Kondensation von Guttapercha nicht allein für VRF verantwortlich ist [69,109]. Zwar erzeugen Spreader einen gewissen Stress in der Wurzelkanalwand [124], wobei die Zone maximaler Stresserzeugung bei lateraler Kondensation nahe der Spreaderspitze und somit am Foramen apikale lokalisiert ist, von wo aus VRF entspringen können [133]. Dennoch werden mittlere Kräfte, die ca. 7-8,1 kg entsprechen benötigt, um Molaren zu frakturieren [67,69]. Dem gegenüber haben Untersuchungen gezeigt, dass zum einen Guttapercha bereits bei 1-3 kg gut verdichtet ist, um einen ausreichenden Verschluss herzustellen [14,133] und zum anderen die maximalen Kräfte, die zum Kondensieren aufgewendet werden, auch nur in diesem Bereich liegen [45]. Reuvers [101] konnte im Bezug auf die Spreaderkräfte in einem Selbstversuch an einer Küchenwaage herausfinden, dass er Spreaderkräfte von max. 1 kg ausüben konnte. So lässt sich zusammenfassend sagen, dass eine Kraft von 3,4 kg entsprechend 70% der

mindestens auslösenden Kraft für eine VRF von 4,9 kg, im Allgemeinen als sicher gilt [69], zumal diese Kraft selten zu erreichen sein dürfte. In diesem Zusammenhang ist durchaus interessant, dass Zähne, die mit Ketac-Endo als Wurzelkanal füllendem Sealer abgefüllt wurden, signifikant besser abschnitten im Vergleich zu Zähnen, die mit AH-plus als Sealer abgefüllt wurden. Es konnte sogar gezeigt werden, dass sich diese Zähne ähnlich wie nicht Wurzelkanal gefüllte Zähne verhielten [70]. Nichts desto trotz liegt im Allgemeinen die Überlebensrate von Zähnen, die mit lateraler Kondensation abgefüllt wurden, nach 4-6 Jahren bei über 90% [30].

4.2.6 Röntgenaufnahmen der Wurzelkanalfüllungen („Abfüllkontrollen“)

Zwar gab es einen leichten Unterschied bezogen auf die Wandständigkeit der Wurzelfüllungen in Röntgenaufnahmen der Abfüllkontrolle zwischen frakturierten und nicht frakturierten Zähnen, jedoch lagen die frakturierten Zähne mit 91% wandständig abgefüllter Zähne nur 5% über denen nicht frakturierter Zähne. Eine wandständig schlüssige Abfüllung lässt dabei auf eine gute Qualität der Wurzelkanalfüllung schließen, kann aber auch auf große Kräfte während der Behandlung hindeuten. Das Ziel jeder Wurzelfüllung ist immer der hermetisch dichte Verschluss des aufbereiteten Kanallumens, von der Pulpakammer bis zum apikalen Endpunkt. Zwischen Wurzelkanalwand und Füllung sollte kein ungefüllter Bereich zu sehen sein [154].

Ein größerer Unterschied war bezogen auf die Homogenität der jeweiligen Wurzelfüllungen zu erkennen. Gezeigt werden konnte, dass später frakturierte Zähne mit 82% und damit 12% häufiger homogen abgefüllt waren, als nicht frakturierte Zähne mit 74%. Um eine homogene Füllung zu erreichen, müssen ausreichend große Kräfte aufgewendet werden. Dies kann möglicherweise dazu führen, dass zu große Kräfte angewandt werden und somit die Gefahr einer VRF steigt [15]. Der hier gefundene Anteil von 74% homogen abgefüllter

Wurzelkanäle entspricht in etwa den Angaben von Fuss et al. [33] wonach im Allgemeinen 71% der endodontisch behandelten Zähne eine wandständige und homogene Wurzelkanalfüllung aufwiesen.

Die vorliegenden Literaturangaben besagen, dass an VRF zu 33% das Foramen apikale beteiligt ist [51]. Dies lässt sich auch dadurch bestätigen, dass Zähne häufig zunächst in der Region des Apex bzw. dem apikalen Wurzeldrittel frakturieren [69]. So konnten Lam et al. nachweisen, dass Frakturen 3,5-5,6 mm vor dem Apex entstehen [67]. Es ist zudem davon auszugehen, dass die Überlebensrate von Zähnen mit über den Apex hinaus gefüllten Wurzelkanälen sinkt [90]. Bestätigt werden kann diese Aussage durch diese Nachuntersuchung, da auch hier mehr frakturierte Zähne überfüllt wurden, als nicht frakturierte Zähne. Mit 22% überfüllten Wurzelkanälen in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne lag dieser Wert nahe den Angaben, wonach ca. 20% der Wurzelkanäle überfüllt werden. Im Allgemeinen haben Zähne die beste Überlebensrate, wenn die Wurzelkanalfüllung bis kurz vor den Apex reicht, diesen aber nicht überschreitet. In diesem Zusammenhang konnten Peak et al. herausfinden, dass 50-82% der Zähne diesen Zustand aufweisen [90]. Der mittlere Abstand der Wurzelfüllung zum Apex nicht überstopfter Zähne lag bei 1,2 mm in der Gruppe der frakturierten Zähne, respektive 0,8 mm in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne.

4.2.7 Auffällige Röntgenbefunden bei Verlaufskontrollen

Radiologische Veränderungen im Zusammenhang mit VRF

Wie bereits weiter oben beschrieben, ist die Diagnose der VRF anhand von Röntgenaufnahmen durchaus schwierig, sodass die richtige Diagnose einer VRF anhand von Röntgenaufnahmen nur in 34% der Fälle gelingt [106,136]. Dies liegt unter anderem daran, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem entstandenen Knochenverlust und der verstrichenen Zeit

besteht. Hierbei zeigen, soweit sichtbar, enge Knochendefekte eine eher akute Fraktur und weitere Knochendefekte einen bereits chronischen Verlauf an. Allgemein ist in frühen Stadien einer Fraktur eine radiologische Evaluation aufgrund der noch geringen Osteolyse schwierig. Erst bei einer Osteolyse in Richtung approximal lässt sich ein Knochendefekt in der Röntgenaufnahme sicher erkennen [75]. Wie bereits beschrieben, gelingt die definitive Diagnose einer VRF in der Röntgenaufnahme nur unter zwei Voraussetzungen. Auf der einen Seite ist dies die klare Sichtbarkeit eines dünnen, haarfeinen Risses entlang der Wurzel und auf der anderen Seite die Beobachtung zweier separierter Knochenfragmente [133]. Dennoch gibt es darüber hinaus, wie unter 1.4.3.2 beschrieben, eine Reihe typischer radiologischer Erscheinungen, die im Zusammenhang mit VRF auftreten [25]. Auch daher ist die radiologische Befundung ein wesentlicher Bestandteil bei der Diagnosesicherung einer VRF [132]. In manchen Fällen sind jedoch keine radiologischen Zeichen erkennbar, sodass sich die Diagnose einer VRF verzögern kann.

Verfügbarkeit von Röntgenaufnahmen zu Verlaufskontrollen

Wie bereits dargestellt, war ein Ziel der Nachuntersuchung, die Prävalenz vertikaler Wurzelfrakturen im Patientenkollektiv der letzten zehn Jahre zu bestimmen. Dazu wurden alle vorhandenen Röntgenaufnahmen der betreffenden Zähne ausgewertet. Dieser Umstand stellte eine gewisse Limitation der Studie dar. Es konnten zwar von allen 114 Zähnen Röntgenaufnahmen beurteilt werden, die vor Beginn der Behandlung, sowie als Kontrollaufnahme zum Abschluss der Wurzelkanalbehandlung angefertigt wurden, Verlaufskontrollen waren jedoch nur bei 77 Zähnen vorhanden. Unter diesen 77 Röntgenaufnahmen waren jedoch alle frakturierten Zähne enthalten. Dies kann zum einen an einer gewissen Patientenfluktuation eines Universitätsklinikums liegen, zum anderen daran, dass im klinischen Alltag nicht von allen Wurzelkanalbehandlungen Verlaufskontrollaufnahmen angefertigt werden. Um diesen Umstand auszugleichen, wäre daher die Anfertigung von

Röntgenaufnahmen jedes Studienteilnehmenden im Zuge der Nachuntersuchung nötig gewesen. Die Anfertigung von Röntgenaufnahmen ausschließlich zu Studienzwecken war jedoch aus medizinischen, wie auch aus ethischen Gründen nicht vertretbar, sodass nur 77 Röntgenaufnahmen als Verlaufskontrollaufnahmen in die Studie mit eingeflossen sind. Da es an vergleichbaren Studien mangelt und die meisten radiologischen Auffälligkeiten jeweils in Fallbeschreibungen veröffentlicht wurden, ist es schwierig prozentuale Werte mit anderen Studien in Relation zu setzen. Soweit möglich wird dennoch versucht, einen Vergleich zu anderen Studien zu ziehen.

Radiologisch erkennbare Rissbildungen

Der Befund eines Risses oder Sprunges innerhalb der Zahnwurzel wurde im Erhebungsbogen mit „Diskontinuität“ beschrieben. Insgesamt wurden sechs Fälle von Diskontinuitäten innerhalb der Zahnwurzel diagnostiziert. Eine besonders hohe Zahl wiesen dabei erwartungsgemäß die frakturierten Zähne mit 18% bei Verlaufskontrollaufnahmen auf. Diskontinuitäten innerhalb der Zahnwurzel sind nur dann sichtbar, wenn der Röntgenstrahl parallel [115] bzw. in einem Winkel von ± 4 Grad auf die Wurzelfraktur fällt [93,106] oder wenn inzwischen eine Interposition von Granulationsgewebe zwischen den Frakturspalten stattgefunden hat [8]. Zudem ist die Diagnose vor allem dann erschwert, wenn eine Überlagerung der Fraktur aufgrund ihrer zumeist bucco-lingualen Ausdehnung mit röntgenopakem Wurzelfüllmaterial vorliegt [93,133]. Des Weiteren ist zu beachten, dass sich bei mehrwurzeligen Zähnen das parodontale Ligament einer anderen Wurzel als Fraktur fehlgedeutet werden kann [82]. Die von Rud und Omnell [106] beschriebenen Zahlen wonach aus 375 vertikal frakturierten Zähnen 35,7% einen sichtbaren Riss aufwiesen, konnten in der vorliegenden Studie, mit 18%, nicht erreicht werden.

Radiologisch erkennbare Separation von Wurzelkanalfragmenten

Eine klare Aussage darüber, wie oft eine Separation von Zahnwurzelfragmenten vorlag konnte in drei Fällen getroffen werden. Dabei zeigten in der Gruppe frakturierter Zähne sich alle Separationen innerhalb der Verlaufskontrollaufnahme. Somit konnte bei 27% dieser Zähne eine Separation nachgewiesen werden. Sowohl auf initial, als auch nach erfolgter Wurzelkanalbehandlung angefertigten Röntgenaufnahmen, konnte keine Separation nachgewiesen werden, sodass es sehr unwahrscheinlich ist, dass eine Fraktur eines Zahns bereits vor der endodontischen Maßnahme vorhanden war, da eine solche Fraktur durch die Wurzelfüllung mit lateraler Kondensation auseinander gepresst und somit sichtbar geworden wäre. Der etwas geringen Fallzahl von elf Frakturen ist es geschuldet, dass dieser Wert wahrscheinlich etwas zu hoch ist. Es kann eher davon ausgegangen werden, dass es in etwa in 3-8% der Fälle zu einer Separation kommt [132,136].

Radiologisch sichtbare Aufhellungen an der Zahnwurzel

Wiederholt wird angegeben, dass röntgenologische Auffälligkeiten einer vertikalen Wurzelfaktur denen rein parodontalen Läsionen ähneln. Die Häufigkeit entsprechender Röntgenbefunde wird mit bis zu 75% beziffert [132]. Nichts desto trotz gibt es eine Reihe von wiederkehrenden Befunden, die im Anschluss dargestellt werden. Bei der Beurteilung der angefertigten Röntgenaufnahmen wurden drei verschiedene Arten von Aufhellungen erfasst. Dabei handelte es sich um apikale, laterale und interradiikuläre Aufhellungen. Erwartungsgemäß nimmt in der Kontrollgruppe der nicht frakturierten Zähne die Häufigkeit von Aufhellungen zwischen der initial, bei Behandlungsbeginn angefertigten Röntgenaufnahme und einer Aufnahme, im Zuge von Verlaufskontrollaufnahmen ab. So konnte gezeigt werden, dass diese Werte bei apikalen Aufhellungen von initial 73%, auf später 24% und bei lateralen Aufhellungen von initial 25%, auf 8% sanken. Einzig bei interradiikulären Aufhellungen blieb ein Wert von rund 20% nahezu konstant. Eine rein

parodontale Ursache, mit einem Knochenrückgang unter das Furkationsdach, kann aber hier häufig ein Grund sein. Zusätzlich lässt sich zusammenfassend feststellen, dass frakturierte Zähne im Allgemeinen höhere Raten an Aufhellungen in Röntgenaufnahmen aufweisen, als nicht frakturierte Zähne. Lag eine VRF vor, so wies diese in 45% der Fälle bei einer Verlaufsröntgenaufnahme eine apikale Aufhellung auf. Gegenüber der Vergleichsgruppe bedeutet dies nahezu eine Verdopplung der Fallzahl. Auch laterale Aufhellungen konnten in der Gruppe der frakturierten Zähne deutlich häufiger identifiziert werden. Mit 27% wies annähernd jeder dritte frakturierte Zahn eine laterale Aufhellung auf. Verglichen mit den Zähnen der Vergleichsgruppe, überstieg diese Fallzahl deren Zahl ebenfalls erheblich und trat dreifach häufiger auf. Wie der Literatur zu entnehmen ist, kann sich in Folge einer Wurzelfraktur eine periapikale oder laterale Aufhellung entwickeln [72]. Zwar weichen diese Werte etwas von den hier dargestellten Beobachtungen ab, dennoch konnte auch in der Literatur in 24-32% der VRF eine apikale und in 24% der Fälle eine laterale Aufhellung nachgewiesen werden. Ebenso sind interradiäre Aufhellungen immer häufiger als in Vergleichsgruppen mit nicht frakturierten Zähnen [132,137].

Radiologisch erkennbarer Verlust der Wandständigkeit

Der Verlust der Wandständigkeit einer zuvor lege artis angefertigten Wurzelfüllung kann auf eine VRF hindeuten. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn in der Röntgenaufnahme der Abfüllkontrolle die Wurzelfüllung noch vollständig wandständig war, in einer Verlaufskontrollaufnahme hingegen nicht mehr [81]. Diese Aussage aus der Literatur deckt sich mit den Studiendaten, nach denen bei 18% der vertikal frakturierten Zähne ein nicht röntgendichter Spalt zwischen Wurzelfüllmaterial und Kanalwand zu erkennen war, was auf eine VRF schließen lässt.

Generell sind im Wurzelkanal verankerte Stifte so konstruiert, dass sie den Wurzelkanal ausfüllen und der Wurzelkanalwand auf voller Länge anliegen. Analog dem zuvor beschriebenen Punkt kann bei einem röntgenologisch sichtbaren Spalt zwischen zuvor passgenauem Stift und Wurzelkanalwand in Verlaufsaufnahmen ebenfalls auf eine VRF geschlossen werden [81]. Betrachtet man diesem Umstand genauer, konnte bei keinem der fünf, mit einem Stift versorgten, nicht frakturierten Zähnen ein solcher Spalt nachgewiesen werden.

Verbreiteter Parodontalspalt

In 40% der Fälle zeigten VRF einen verbreiterten Parodontalspalt auf. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit Aussagen mehrerer Studien, wonach ein verbreiteter Parodontalspalt für eine VRF typisch ist [25,132].

Treppen und V-förmige Knochendefekte

Ein weiterer, eher unspezifischer radiologischer Befund kann ein treppen- oder auch V-förmiger Knochendefekt sein. V-förmige Knochendefekte erscheinen als krestal weite, nach apikal schmaler werdende Aufhellung, die parallel zur Zahnwurzel verlaufen und häufig abrupt zum Zahn enden [25,93]. Laut Tamse [133] sind Knochendefekte dieser Art bei 14% der VRF erkennbar. Ihre Häufigkeit lag in der vorliegenden Nachuntersuchung bei 9%.

4.2.8 Von den Studienteilnehmenden anamnestisch erhobene Daten

Wiederholt werden in der Literatur typische Symptome genannt, die vermehrt bei VRF auftreten und am Studienteilnehmenden anamnestisch erhoben werden können. Sehr typisch ist dabei das Geräusch einer Fraktur des Zahns [101] bzw. ein Knacken während der Behandlung [47,81,93]. Dieses deutliche Zeichen kann bereits als klarer Anhaltspunkt auf eine VRF gesehen werden. Es zeigt sich jedoch auch, dass trotz elf frakturierter Zähne in dieser

Nachuntersuchung kein Studienteilnehmender ein solches Geräusch beschreiben konnte. Eine mögliche Erklärung scheint hierbei zu sein, dass vertikale Wurzelfrakturen häufig nicht spontan entstehen, sondern sich langsam entwickeln und es so zu keinem hörbaren Geräusch kommt. Zusätzlich zu einem hörbaren Knacken wurde von diversen Autoren angegeben, dass Patienten häufig über ein Unwohlsein mit dem Zahn klagen. Weiterhin werden von den Patienten vermehrt leichte, dumpfe Schmerzen über einen längeren Zeitraum angegeben [25,36,72,81,101,138]. Dieser Effekt ist häufig ein Zeichen für entzündliche Prozesse in dem an die Fraktur angrenzenden parodontalen Gewebe [136] und tritt in 43-55% der Fälle auf [92,133,136]. Insgesamt sind die subjektiven Beschwerden aber eher gering. Zwischen den frakturierten Zähnen und denen der Kontrollgruppe konnte kaum ein Unterschied in diesem Untersuchungspunkt festgestellt werden. Moule et al. [81] beschrieben in ihrer Studie, dass Patienten mit frakturierten Zähnen häufig über Aufbissempfindlichkeiten klagen. Auch hier konnte kein deutlicher Unterschied zwischen frakturierten und nicht frakturierten Zähnen festgestellt werden. In beiden Gruppen gaben 9% bzw. 10% der Studienteilnehmenden Aufbissempfindlichkeiten an. Dieser sehr geringe Unterschied lässt keinen Schluss zu, ob VRF vermehrt mit Aufbissempfindlichkeiten assoziiert sind. Zuletzt wird immer wieder angeführt, dass die Lockerung von Restaurationen [47] und im Wurzelkanal verankerten Stiften [81] ein Anzeichen für eine VRF sind. Ein solches Ergebnis konnte jedoch in dieser Studie nicht festgestellt werden. Zwar kam es laut der Angabe von Studienteilnehmenden zum Verlust von insgesamt fünf Restaurationen, jedoch waren diese in der Gruppe der nicht frakturierten Zähne. Dieser Umstand erscheint plausibel, da der Verlust einer Restauration auch durch eine Vielzahl anderer Gründe zustande kommen kann und nur in Einzelfällen auf eine VRF zurückzuführen ist.

4.2.9 Sichere klinische Hinweise auf eine VRF

Sichtbare bzw. tastbare Frakturspalten

Das sicherste klinische Zeichen zum Nachweis einer VRF ist ein sichtbarer oder tastbarer Frakturspalt [81]. Unter den elf frakturierten Zähnen konnte in dieser Nachuntersuchung an vier Zähnen ein tastbarer Frakturspalt nachgewiesen werden. An keinem der nicht frakturierten Zähne war ein solcher Spalt tastbar. Da nicht nur tastbare Frakturspalten als Variable erhoben wurden, konnten auch vier sichtbare Frakturen erkannt werden. Diese waren selbstverständlich in der Gruppe frakturierter Zähne. Dabei konnten an zwei Zähnen sowohl ein sichtbarer, als auch ein tastbarer Frakturspalt nachgewiesen werden. An jeweils zwei weiteren Zähnen war entweder nur ein sichtbarer oder tastbarer Frakturspalt zu finden. Um eine solche Fraktur besser erkennen zu können, kann es hilfreich sein, den Sulkus mit Hilfe des Luftbläasers etwas zu erweitern, um einen besseren Blick auf die Wurzeloberfläche zu ermöglichen [120]. Als weiteres Hilfsmittel kann eine fiberoptische Lampe verwendet werden, um die Fraktur besser darzustellen [93]. Beim Sondieren mit einer möglichst spitzen Sonde ist im Falle einer Fraktur ein leichtes Klicken zu vernehmen, was einen deutlichen Hinweis auf eine VRF gibt [93].

Einzelne vertikale Knochendefekte

VRF verlaufen im Allgemeinen parallel zum Wurzelkanal [88] und führen in der Regel außergewöhnlich rasch zu einem ausgedehnten Verlust des parodontalen Attachments [10,74]. Ihre Ausdehnung ist dabei fast immer in bucco-lingualer Richtung [51,125], da an dieser Stelle die Krümmung der Kanalwand am größten ist, sodass hier die größten Kräfte wirken [67] und es somit an dieser Stelle zur Fraktur kommt. Die dabei entstehende Entzündungsantwort im parodontalen Ligament entlang des Frakturverlaufs führt zu einem progredienten Verlust an Hart- und Weichgewebe entlang der

Zahnwurzel. Dies äußert sich in einem tiefen osteolytischen Defekt entlang der Frakturlinie [75,150]. Dieser Defekt ist in einem frühen Stadium nach erfolgter Fraktur durch die Resorption der dünnen buccalen Knochenlamelle, zunächst als schmaler, von koronal nach apikal reichender Knochendefekt erkennbar. Mit der Zeit dehnt sich dieser Defekt V-förmig nach mesial und distal aus [75]. Die Spitze des Knochendefekts befindet sich an dem am weitesten apikal gelegenen Punkt der Fraktur [125]. Eine solche einzelne profunde Tasche, in einem ansonsten parodontal unauffälligen Gebiss, die sich gut von einer rein parodontalen Tasche unterscheiden lässt [93], ist ein absolut charakteristisches Zeichen für eine VRF [25,47,81,92,93,132]. Dieser Effekt konnte auch in dieser Nachuntersuchung gezeigt werden, in der ein erheblicher Teil der frakturierten Zähne einen solchen auffälligen Sondierungsbefund aufwies. So hatten in der Gruppe der frakturierten Zähne 60% eine auffällige Sondierungstiefe und 50% bereits einen V-förmigen Knochendefekt. Demgegenüber wiesen weit über 80% der nicht frakturierten Zähne keine Anomalie beim Sondieren auf. V-förmige Knochendefekte konnten in dieser Gruppe nicht nachgewiesen werden. Diverse Autoren fanden bei Patienten mit VRF an 67-96% der betroffenen Zähne einen solchen typischen Sondierungsdefekt [46,61,75,92,136]. Dies zeigt die große Relevanz dieser Befundmethode bei der Diagnostik einer VRF. Weiterhin gilt ein tiefer, schmaler Knochendefekt, der auf beiden Seiten eines ansonsten unauffälligen Zahns sondiert werden kann, als pathognomonisch für eine VRF [81]. Besonders deswegen sollten Sondierungstiefen in der gesamten Zirkumferenz gemessen werden [47]. Als einzige Einschränkung bei einem auffälligen Sondierungsdefekt kann allenfalls eine aggressive Parodontitis in Frage kommen. Bei dieser Erkrankung kann unter anderem an den ersten Molaren eine rasch fortschreitende, kraterförmige Destruktion des Alveolarknochens beobachtet werden, wobei größere Ansammlungen von Plaque und Zahnstein in der Regel fehlen [8].

4.2.10 Unsichere diagnostische Hinweise auf eine VRF

Funktionelle Belastung endodontisch behandelter Zähne

In der vorhandenen Literatur finden sich nur wenige Angaben darüber, ob die funktionelle Belastung des endodontisch behandelten Zahns ein prädisponierender Faktor für die Entstehung einer VRF ist. Um diese Tatsache näher zu beleuchten und eine ggf. vorhandene Korrelation darstellen zu können, wurden die Parameter Unterkieferführung, vorhandene Vorkontakte und Schliffacetten, Vorhandensein und ggf. Art einer prothetische Versorgung sowie Vorhandensein eines Antagonisten mit in die Studie aufgenommen. Da diese Parameter in der Literatur nur unzureichend dargestellt sind, ist ein Vergleich mit anderen Studien in diesem Teil der Nachuntersuchung an vielen Stellen nur schwer möglich. Ein Zusammenhang zwischen der Unterkieferführung und der Prävalenz vertikaler Wurzelfrakturen konnte in dieser Nachuntersuchung nicht gefunden werden. Mit 36% und damit 10% mehr Front-Eckzahn-Führungen wies die Gruppe der frakturierten Zähne eine hohe Rate von unbelasteten Zähnen bei Laterotrusion auf. Somit stellte die UK-Führung keine Determinante für eine VRF dar. Dagegen kann eine sehr starke natürliche Interkuspidation ein Risikofaktor für eine VRF sein [104]. Insgesamt wiesen 55% der untersuchten frakturierten und 83% der nicht frakturierten Zähne keine Vorkontakte auf. Damit lässt sich keine sichere Angabe machen, ob sich ein Vorkontakt negativ auf die Entstehung einer VRF auswirkt. Dies scheint jedoch nur eine Sichtweise zu sein, da auch eine traumatische Okklusion zu einer VRF führen kann [86]. In diesem Bezug wurde auch das Vorhandensein von Schliffacetten beurteilt. Es konnten dabei nur wenige Schliffacetten an endodontisch behandelten Zähnen gefunden werden, sodass auch hier nicht von einer erhöhten funktionellen Belastung dieser Zähne ausgegangen werden kann. Nur ein einziger Zahn aus der Gruppe der frakturierten Zähne wies als Brückenpfeiler überhaupt einen Zusammenhang mit einer prothetischen Versorgung auf. Demgegenüber waren 14% der nicht

frakturierten Zähne entweder als Brückenpfeiler oder mit einem Halteelement für eine Prothese versehen und Bestandteil einer prothetischen Versorgung. Zusammengefasst kann auch dieser Parameter nicht als direkter prädisponierender Faktor für VRF gesehen werden. Ob ein Antagonist zu den endodontisch behandelten Zähnen vorhanden ist, stellt einen weiteren funktionellen Faktor dar. In dieser Nachuntersuchung hatten sowohl frakturierte als auch nicht frakturierte Zähne mit rund 90% nahezu identisch häufig einen oder mehrere Antagonisten. Obwohl Autoren angeben, dass ein erhöhtes Risiko für einer VRF durch eine höhere funktionelle Belastung entsteht und dieser Zustand des zunehmenden Zahnverlust bei älteren Menschen erkennbar ist [119,136], decken sich die Erkenntnisse dennoch mit Studien, die besagen, dass die funktionelle Belastung keinen signifikanten Einfluss auf das Entstehen einer VRF hat [64].

Kariöse Läsionen

Wiederholt wird angegeben, dass der Verlust gesunder Zahnhartsubstanz durch Karies und eine somit erhöhte Gefahr für einen Dentinsprung, der sich zu einer Fraktur ausdehnen kann, ein prädisponierender Faktor für VRF ist [61,123,143]. Im Gegensatz dazu fand sich in der vorliegenden Studie bezüglich des Vorhandenseins kariöser Läsionen und des Auftretens vertikaler Wurzelfrakturen kein Zusammenhang. Vielmehr lässt sich anhand der ermittelten Werte sagen, dass kariöse Defekte keine Auswirkung auf VRF haben, da der Unterschied zwischen den beiden zu vergleichenden Gruppen nur marginal war.

Anzahl vorhandener Approximalkontakte

Aquilino et al. [5] berichteten, dass bezogen auf alle endodontisch behandelten Zähne, solche mit zwei Approximalkontakten bessere Überlebensraten aufweisen als solche mit nur einen Approximalkontakt. Daraus kann geschlossen werden, dass endständige Zähne eine kürzere Überlebensrate

haben müssen. Ähnlich sind die Ergebnisse bei Caplan et al. [19], denen zufolge Zähne mit zwei Approximalkontakten deutlich seltener extrahiert werden, als Zähne mit weniger als zwei Approximalkontakten. Da vertikal frakturierte Zähne in der Nachuntersuchung nur 4% seltener endständig waren als nicht vertikal frakturierte Zähne, kann die Endständigkeit von Zähnen als Begründung für eine VRF nicht herangezogen werden.

Ausmaß des Hartschubstanzverlustes und postendodontische Restauration

Einen sehr entscheidenden Faktor für die Überlebensrate wurzelkanalgefüllter Zähne stellt die postendodontische Restauration dar [22]. Zu beachten ist, dass Techniken zur Stabilisierung endodontisch behandelter Zähne bereits über 100 Jahre bekannt sind [122]. Zwar weisen endodontisch behandelte Zähne keine geringere Festigkeit und auch eine um nur 3,5% geringere Härte auf als vitale Zähne [114]. Jedoch gehen in Folge der Wurzelkanalbehandlung ein erheblicher Teil an Zahnhartschubstanz und damit auch Widerstandskraft verloren. Es gibt zwar einzelne Autoren, die keinen Zusammenhang zwischen der restaurativen Versorgung und dem Auftreten vertikaler Wurzelfrakturen sehen [64,138], dennoch herrscht weitgehende Einigkeit darüber, dass die rechtzeitige höckerstabilisierende Überkuppelung der Okklusalfäche bei Molaren nach wie vor den wirksamsten Schutz vor einer Fraktur bietet [8,23,132]. Diese Befunde stehen in Übereinstimmung mit der vorliegenden Nachuntersuchung, in der es möglich war von 98% der Zähne den restaurativen Zustand zu dokumentieren. Dabei ließ sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen verschiedenen Restaurationen und dem Vorliegen einer vertikalen Wurzelfraktur nachweisen. So war in der Gruppe der frakturierten Zähne mit 73% ein besonders hoher Anteil an temporären Kavitätenversorgungen mit Komposit bzw. an definitiven Kompositrestaurationen zu erkennen. Temporäre Versorgungen aus Komposit stellen mit 45% die häufigste postendodontische Versorgung und direkte definitive Kompositfüllungen mit 27% die zweithäufigste Versorgungsart aller

frakturierten Zähne dar. Nur 9% dieser Zähne wurden mit einer höckerübergreifenden Gusskrone versehen. Demgegenüber waren 55% aller nicht frakturierten Zähne mit einer höckerübergreifenden Krone oder Teilkrone und nur 14% mit einer direkten Kompositfüllung versorgt. Ein Zahn wies eine Keramikkrone auf. Eine reine Trepanationsöffnung verringert die Festigkeit eines Zahns lediglich um 5% [98]. Falls nur eine Trepanationsöffnung vorliegt, ist daher eine Kompositfüllung nach Dentin- und Schmelzkonditionierung das Mittel der Wahl [22]. Auf der anderen Seite zeigte Grimaldi [39] eine direkte Beziehung zwischen der verloren gegangenen Zahnhartsubstanz bei der Kavitätenpräparation und dem Ausmaß der Deformation eines Zahns unter Last. Im Vergleich zu einer reinen Trepanationsöffnung mit einem Verlust der Festigkeit von nur 5% konnten Reeh et al. [98] zeigen, dass eine mod-Kavität die Festigkeit eines endodontisch behandelten Zahns um 69% gegenüber einem unversehrten Zahn herabsetzt. Ist ausreichend koronale Zahnhartsubstanz vorhanden, ist die Art der Restauration nicht der entscheidende Faktor für den Erfolg. Sie gewinnt aber an Bedeutung, wenn die koronale Substanz reduziert ist [23]. Eine Reihe von Autoren hat hier übereinstimmend festgestellt, dass der Erhalt natürlicher Zahnhartsubstanz, vor allem der Randleisten, einen entscheidenden Faktor für die Prävention von VRF darstellt [23,98]. So kann bei Erhalt beider Randleisten von einer Überkronung abgesehen werden [52]. Ist dies nicht der Fall, sollten endodontisch behandelte Zähne 6-12 Monate nach erfolgreichem Abschluss der Wurzelkanalbehandlung und röntgenologischer Reevaluation mit einer definitiven Restauration versorgt werden [17]. Hierbei ist eine höckerübergreifende Versorgung mit einer Krone oder Teilkrone das Mittel der Wahl [5]. Der Vorteil einer Krone ist, dass sie zervikal die Zahnhartsubstanz körperlich fasst und die Widerstandskraft des endodontisch behandelten Zahns somit erhöht [7,23]. Zusätzlich ist anzumerken, dass Aquilino et al. [5] in ihrer Studie nachweisen konnten, dass Kronen einen signifikanten positiven Einfluss auf die Überlebensrate endodontisch

behandelter Zähne haben, indem die Verlustrate von nicht überkronten Zähnen sechsmal höher lag als die von überkronten Zähnen. Dies steht in Übereinstimmung mit mehreren anderen Autoren, wonach überkronte wurzelkanalbehandelte Zähne signifikant länger überleben als nicht überkronte [148]. In diesem Zusammenhang konnten Sorensen et al. [122] zeigen, dass endodontisch behandelte überkronte Oberkiefer Molaren eine Erfolgsrate von 97,8% aufweisen gegenüber einer Erfolgsrate von nur 50% bei nicht überkronten Molaren. Abschließend ist somit auch anhand der vorliegenden Studiendaten festzustellen, dass eine zeitnahe höckerübergreifende Restauration wurzelkanalgefüllter Molaren, sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer eine der wichtigsten präventiven Maßnahmen zur Vermeidung einer VRF darstellt.

Perkussionsempfindlichkeit und Lockerung

In der Literatur wurden eine Reihe unsicherer Hinweise auf eine VRF bei der klinischen Untersuchung beschrieben. Darunter ist laut Reuvers fast immer eine leichte Perkussionsempfindlichkeit zu finden [101]. Zusätzlich ist nicht selten eine erhöhte Beweglichkeit des Zahns zu beobachten [47,132]. Zumindest die Aussage, dass frakturierte Zähne häufiger perkussionsempfindlich sind, kann anhand der Befunde innerhalb der vorliegenden Studie bestätigt werden. Mit 18% gegenüber 4% waren frakturierte Zähne wesentlich häufiger perkussionsempfindlich als nicht frakturierte Zähne. Die Häufigkeit gelockerter frakturierter Zähne war leicht niedriger als die der nicht frakturierten Zähne. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu beachten, dass die Gruppe frakturierter Zähne seltener von Parodontitiden betroffen war und dieser Wert somit nur als relativ angesehen werden kann. Zur Bestimmung einer ablaufenden Parodontitis wurde in der Nachuntersuchung der PSI zu Hilfe genommen. Hierbei kann der PSI dazu dienen, ein rein parodontales Problem zu erkennen, wobei bei einer Parodontitis im Normalfall mehrere Sondierungsstellen auffällig sind [133].

Erstaunlich war, dass zum Abschluss der Nachuntersuchung im Gegensatz zu den frakturierten Zähnen mit nur 18% der Anteil an ablaufenden Parodontitiden in der Gruppe nicht frakturierter Zähne mit 43% dieser Nebenbefund deutlich höher lag. Eine Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden.

Vorliegen einer Fistel

Ein häufiger klinischer Befund einer VRF ist das Vorliegen einer Fistel. Es ist jedoch aus differentialdiagnostischer Sicht zu beachten, dass eine Fistelbildung prinzipiell auch bei jeder anderen entzündlichen Erkrankung des Parodonts vorkommen kann [41]. Dennoch konnte bei 18% der VRF eine Fistelbildung gefunden werden. Auffällig war, dass dieser Wert deutlich über dem bei den nicht frakturierten Zähnen lag. Anzumerken ist, dass sich bei VRF Fisteln in der Regel <4 mm apikal des Margo gingivalis darstellen [136]. Im Gegensatz dazu sind endodontisch begründete Fisteln weiter apikal lokalisiert [125,133]. Im Rahmen einer statistischen Auswertung von 185 vertikal frakturierten Zähnen, aus diversen Studien, konnte Tamse [133] nachweisen, dass 13-42% der Zähne eine Fistel aufweisen. Diese Werte stimmen mit den Daten der vorliegenden Nachuntersuchung überein. Besonders zu beachten ist in Bezug auf eine Fistelbildung, dass das Auffinden eines einzelnen Fistelgangs nur einen Hinweis auf eine VRF geben kann, wohingegen zwei, auf gegenüberliegenden Seiten des Zahns lokalisierte Fisteln, als pathognomonisches Zeichen für eine VRF gesehen werden können [93]. Um den Ursprung einer Fistel besser darstellen zu können, kann ein in das Fistelmaul eingeführter Guttaperchastift helfen. Häufig kann damit eine rein endodontische Ursache von einer VRF differenziert werden [8,153].

4.3 Schlussfolgerung

Vertikale Wurzelfrakturen stellen eine häufig nur schwer diagnostizierbare Erkrankung dar. Nach einer langen Zeitspanne von oft unspezifischen Beschwerden werden VRF meistens anhand von sekundären Befunden entdeckt. Pathognomonische Symptome sind nur wenige vorhanden. Um eine Wurzelfraktur sicher zu diagnostizieren, ist eine ausführliche klinische und radiologische Befunderhebung unverzichtbar. Da eine vertikale Wurzelfraktur zu einer starken Knochenzerstörung um den betreffenden Zahn führt, ist es von großer Bedeutung, eine solche Fraktur möglichst frühzeitig zu erkennen, um dem Patienten die Möglichkeit einer suffizienten Versorgung zu gewährleisten. Bedingt durch eine stärkere Fokussierung auf das Thema mehren sich in letzter Zeit Berichte über vertikale Wurzelfrakturen. Zu den wichtigsten protektiven Faktoren zum Schutz vor vertikalen Wurzelfrakturen zählen unter anderem eine substanzschonende Wurzelkanalaufbereitung, eine mäßige Kraftausübung beim Abfüllen, vor allem bei Anwendung der lateralen Kondensationstechnik, eine strenge Indikationsstellung vor Verwendung von Wurzelkanalstifte sowie eine zeitnahe Stabilisierung der verbliebenen Restzahnschubstanz, durch eine höckerübergreifende Restauration. Vor allem vor dem Hintergrund, dass eine vertikale Wurzelfraktur fast immer die Extraktion des entsprechenden Zahns nach sich zieht, ist die Einhaltung dieser Vorgaben essentiell. Um die wichtigsten prädisponierenden Faktoren für die Entstehung einer vertikalen Wurzelfraktur besser bestimmen zu können, sollten weitere Studien folgen, in die auch Prämolaren und Frontzähne einbezogen werden.

5 Zusammenfassung

Vertikale Wurzelfrakturen sind sowohl für den Zahnarzt als auch für den Patienten äußerst frustrierend und enden meist in der Extraktion des betroffenen Zahns. Die Definition einer vertikalen Wurzelfraktur ist dabei eine längsorientierte Fraktur, die Krone und Wurzel erfasst und Teile des Wurzelkanals mit einschließt. Die Mehrzahl dieser Frakturen treten an zuvor endodontisch behandelten Zähnen auf.

Da viele Hintergründe trotz der klinischen Relevanz nicht geklärt sind, waren die Ziele der Nachuntersuchung, die Prävalenz vertikal frakturierter Molaren im Patientenkollektiv der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie aus den Jahren 2000-2010 nachzuweisen, charakteristische radiologische Erscheinungen und klinische Symptome darzustellen und die wichtigsten prädisponierenden Faktoren für die Entstehung einer vertikalen Wurzelfraktur zu identifizieren.

Hierfür wurde versucht, alle Patienten, bei denen ein Molar in den zurückliegenden zehn Jahren endodontisch behandelt wurde, zu kontaktieren und zur Studie einzuladen. Schlussendlich konnten insgesamt 114 Molaren nachuntersucht werden. Dies erfolgte anhand eines auf Primärliteratur basierenden Erhebungsbogens, der in vier Teile gegliedert war und allgemeine Daten, eine Historie des Zahns sowie die Auswertung von Röntgenaufnahmen und eine klinische Untersuchung des Studienteilnehmenden enthielt. Es konnte sowohl eine homogene Verteilung bezogen auf das Alter und Geschlecht der Studienteilnehmer, als auch auf die einzelnen Zähne in der Nachuntersuchung erreicht werden.

Im Rahmen der durchgeführten Nachuntersuchung wurde an elf Zähne, d.h. an ca. 10% der nachuntersuchten Zähne, eine vertikale Wurzelfraktur nachgewiesen. Zu den wichtigsten Erkenntnissen dieser Studie zählen unter anderem, dass vertikale Wurzelfrakturen häufiger auftraten als in der Literatur berichtet. Übereinstimmend mit anderen Studien waren vor allem ältere

Patienten ab dem 50. Lebensjahr betroffen. Auffällig war der hohe Anteil an Zähnen, die aufgrund einer irreversiblen Pulpitis behandelt wurden. Bei der Wurzelkanalbehandlung sollte möglichst substanzschonend vorgegangen werden und im Zuge der Abfüllung mittels lateraler Kondensation auf starke Druckanwendung verzichtet werden. Auch im Wurzelkanal verankerte Stifte stellen einen wichtigen prädisponierenden Faktor für die Entstehung vertikaler Wurzelfrakturen dar, was bestätigt werden konnte. Radiologisch fiel vor allem der hohe Anteil an apikalen Aufhellungen frakturierter Zähne ins Auge. Auch Separationen und V-förmige Knochendefekte sind übereinstimmend mit zahlreichen anderen Autoren als klare Anzeichen einer Fraktur zu werten. Vertikale Wurzelfrakturen zeichnen sich klinisch in erster Linie durch eher unspezifische Symptome aus. Der bei weitem bedeutsamste Parameter zum Nachweis einer Fraktur ist eine auffällige Sondierungstiefe, wie sie in dieser Studie an 36% der frakturierten Zähne diagnostiziert wurde.

Um vertikale Wurzelfrakturen zu vermeiden, sollten endodontisch behandelte Zähne zeitnah mit einer Höcker übergreifenden Restauration versorgt werden, da bereits der Verlust ausschließlich der Randleisten, zu einer Schwächung des Zahns um 60% führt. Dies konnte auch deutlich anhand der Untersuchungsbefunde gezeigt werden, wonach nur 9% der frakturierten Zähne gegenüber 55% der nicht frakturierten Zähne auf diese Weise versorgt waren.

Insgesamt stellt die vertikale Wurzelfraktur eine oftmals nur schwer diagnostizierbare Erkrankung dar. Voraussetzung für das Erkennen vertikaler Wurzelfrakturen ist die Erhebung eines ausführlichen klinischen, sowie radiologischen Befundes. Zur Prävention sollte bei der endodontischen Behandlung möglichst substanzschonend vorgegangen werden und der Zahn zeitnah mit einer höckerübergreifenden Restauration versorgt werden. Um die wichtigsten prädisponierenden Faktoren noch besser verstehen zu können, sollten Studien unter Einbeziehung weiterer Zähne folgen.

6 Literaturverzeichnis

1. Aesaert G: Lassen sich Zähne mit verticaler Wurzelfraktur erhalten? *Endodontie* 10: 163–176 (2001)
2. Alley BS, Kitchens GG, Alley LW, Eleazer PD: A comparison of survival of teeth following endodontic treatment performed by general dentists or by specialists. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 98: 115–118 (2004)
3. American Association of Endodontics: Your guide to cracked teeth. In: AAE (Hrsg) Broschüre, Chicago Illinois, S. 2-7 (2011)
4. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC: Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent. Traumatol. Off. Publ. Int. Assoc. Dent. Traumatol.* 18: 134–137 (2002)
5. Aquilino SA, Caplan DJ: Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth. *J. Prosthet. Dent.* 87: 256–263 (2002)
6. Arakawa S, Cobb CM, Rapley JW, Killoy WJ, Spencer P: Treatment of root fracture by CO₂ and Nd:YAG lasers: an in vitro study. *J. Endod.* 22: 662–667 (1996)
7. Assif D, Bitenski A, Pilo R, Oren E: Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. *J. Prosthet. Dent.* 69: 36–40 (1993)
8. Attin T, Hellwig E, Kielbassa A: Differentialdiagnostische Probleme im Zusammenhang mit einer Fistelbildung nach Kronen-Wurzel-Fraktur eines wurzelkanalbehandelten Seitenzahns. *Endodontie* 4: 107–119 (1995)
9. Axelsson P, Nyström B, Lindhe J: The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J. Clin. Periodontol.* 31: 749–757 (2004)
10. Barkhordar RA: Treatment of vertical root fracture: a case report. *Quintessence Int. Berl. Ger.* 1985 22: 707–709 (1991)
11. Baumann M, Beer R: Nickel-Titan: Werkstoffkunde. In: Wolf HF (Hrsg)

- Farbatlant der Zahnmedizin, Endodontie, 2. Aufl, Thieme, Stuttgart: S. 83
(2008 a)
12. Baumann M, Beer R: Nickel-Titan: Werkstoffkunde. In: Wolf HF (Hrsg) Farbatlant der Zahnmedizin, Endodontie, 2. Aufl, Thieme, Stuttgart: S. 109-117 (2008 b)
13. Bengel W: Früherkennung parodontaler Erkrankungen: Der parodontale Screening Index (PSI). Quintessenz Team-Journal 1: 19–23 (2002)
14. Blum JY, Machtou P, Micallef JP: Analysis of forces developed during obturations. Wedging effect: Part II. J. Endod. 24: 223–228 (1998)
15. Blum JY, Machtou P, Micallef JP: Analysis of forces developed during obturations. Wedging effect: Part I. J. Endod. 24: 217–222 (1998)
16. Bühler H: Evaluation of root-resected teeth. Results after 10 years. J. Periodontol. 59: 805–810 (1988)
17. Burke FJ: Tooth fracture in vivo and in vitro. J. Dent. 20: 131–139 (1992)
18. Cameron CE: Cracked-Tooth Syndrome. J. Am. Dent. Assoc. 1939 68: 405–411 (1964)
19. Caplan DJ, Weintraub JA: Factors related to loss of root canal filled teeth. J. Public Health Dent. 57: 31–39 (1997)
20. Chan CP et al.: Vertical root fracture in nonendodontically treated teeth--a clinical report of 64 cases in Chinese patients. J. Endod. 24: 678–681 (1998)
21. Chan CP, Lin CP, Tseng SC, Jeng JH: Vertical root fracture in endodontically versus nonendodontically treated teeth: a survey of 315 cases in Chinese patients. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod. 87: 504–507 (1999)
22. Cheung W: A review of the management of endodontically treated teeth. Post, core and the final restoration. J. Am. Dent. Assoc. 1939 136: 611–619 (2005)
23. De Cleen M: Richtlinien zur Restauration wurzelkanalbehandelter Zähne. Endodontie 4: 289–297 (1994)
24. Cobankara FK, Ungör M, Belli S: The effect of two different root canal

- sealers and smear layer on resistance to root fracture. *J. Endod.* 28: 606–609 (2002)
25. Cohen S, Blanco L, Berman L: Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. *J. Am. Dent. Assoc.* 134: 434–441 (2003)
26. Dammaschke T, Steven D, Kaup M, Ott KHR: Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. *J. Endod.* 29: 638–643 (2003)
27. Dang DA, Walton RE: Vertical root fracture and root distortion: effect of spreader design. *J. Endod.* 15: 294–301 (1989)
28. Doyon GE, Dumsha T, von Fraunhofer JA: Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. *J. Endod.* 31: 895–897 (2005)
29. Esberard RM, Carnes DL Jr, del Rio CE: Changes in pH at the dentin surface in roots obturated with calcium hydroxide pastes. *J. Endod.* 22: 402–405 (1996)
30. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S, Toronto Study: Treatment outcome in endodontics-the Toronto Study. Phase II: initial treatment. *J. Endod.* 30: 302–309 (2004)
31. Firedman S, Moshonov J, Trope M: Resistance to vertical fracture of roots, previously fractured and bonded with glass ionomer cement, composite resin and cyanoacrylate cement. *Endod. Dent. Traumatol.* 9: 101–105 (1993)
32. Fritz U, Kerschbaum T: Langzeitverweildauer wurzelkanalgefüllter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 54: 262–265 (1999)
33. Fuss Z, Lustig J, Katz A, Tamse A: An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures. *J. Endod.* 27: 46–48 (2001)
34. Fuss Z, Lustig J, Tamse A: Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int. Endod. J.* 32: 283–286 (1999)
35. Galler K: Vier elektronische Wurzelkanallängenmessgeräte im klinischen Vergleich mit Röntgenmesstechnik und tatsächlicher Länge. *Zahnmed*

Dissertation, Universität München (2002)

36. Gher ME Jr, Dunlap RM, Anderson MH, Kuhl LV: Clinical survey of fractured teeth. J. Am. Dent. Assoc. 1939 114: 174–177 (1987)

37. Golombek-Elmastas M: Einfluss medikamentöser Wurzelkanaleinlagen auf die Dichtigkeit der provisorischen Deckfüllung aus Cavit®. Zahnmed Dissertation, Universität Gießen (2006)

38. Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung - Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und der DGZMK, Stand 23.07.2007, V 1.b. DZZ 60: (2005)

39. Grimaldi J: Measurement of the lateral deformation of the tooth crown under axial compressive cuspal loading. Thesis. University of Otago (1971)

40. Gutmann JL: The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. J. Prosthet. Dent. 67: 458–467 (1992)

41. Gutmann JL: Die Bedeutung der Differentialdiagnose in der Endodontie – ein Fallbericht. Endodontie 2: 39–42 (1993)

42. Gutmann JL, Rakusin H: Endodontic and restorative management of incompletely fractured molar teeth. Int. Endod. J. 27: 343–348 (1994)

43. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N: Effect of new obturating materials on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. J. Endod. 33: 732–736 (2007)

44. Hansen E: In vivo cusp fracture of endodontically treated teeth. J Endod 6: 560–565 (1980)

45. Harvey TE, White JT, Leeb IJ: Lateral condensation stress in root canals. J. Endod. 7: 151–155 (1981)

46. Haueisen H, Ratka-Krüger P, Heidemann D: Mögliche Ursachen und Auswirkungen vertikaler Wurzelfrakturen – zwei Falldarstellungen. Endodontie 6: 295–305 (1997)

47. Haueisen H, Ratka-Krüger P, Heidemann D: Diagnostik vertikaler Wurzelfrakturen endodontisch behandelte Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 54: 249–

252 (1999)

48. Helfer AR, Melnick S, Schilder H: Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 34: 661–670

(1972)

49. Heling I et al.: Endodontic failure caused by inadequate restorative procedures: review and treatment recommendations. *J. Prosthet. Dent.* 87: 674–678 (2002)

50. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Endodontologie. In: Hellwig E, Klimek J, Attin T (Hrsg) *Einführung in die Zahnerhaltung*, 2. Aufl, Urban & Fischer, Jena, München: S. 132, 245 (2003)

51. Holcomb JQ, Pitts DL, Nicholls JI: Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. *J. Endod.* 13: 277–284 (1987)

52. Howe CA, McKendry DJ: Effect of endodontic access preparation on resistance to crown-root fracture. *J. Am. Dent. Assoc.* 1939 121: 712–715 (1990)

53. <http://www.zwp-online.info/de/fachgebiete/endodontologie/grundlagen/zahnerhalt-um-jeden-preis> (28.12.13)

54. <http://www.med-college.hu/de/wiki/artikel.php?id=463&lan=1> (28.12.13)

55. http://www.zm-online.de/hefte/Management-endodontischer-Misserfolge_72332.html (23.06.13)

56. Huhn C, Koch J: Darstellung und initiale Erweiterung der Wurzelkanäle, Methoden und Instrumente. *Endodontie* 21: 131–138 (2012)

57. Hülsmann M: Wurzelkanalpräparation. In: Hülsmann M (Hrsg) *Checklisten der Zahnmedizin – Endodontie*, 1. Aufl, Thieme, Stuttgart: S. 122–155 (2008 a)

58. Hülsmann M: Wurzelkanalfüllung. In: Hülsmann M (Hrsg) *Checklisten der Zahnmedizin - Endodontie*, 1. Aufl, Thieme, Stuttgart: S. 165–173 (2008 b)

59. Hürmüzlü F, Kiremitçi A, Serper A, Altundaşar E, Siso SH: Fracture resistance of endodontically treated premolars restored with ormocer and packable composite. *J. Endod.* 29: 838–840 (2003)
60. Kawai K, Masaka N: Vertical root fracture treated by bonding fragments and rotational replantation. *Dent. Traumatol. Off. Publ. Int. Assoc. Dent. Traumatol.* 18: 42–45 (2002)
61. Kfir A, Zukerman O, Tamse A, Fuss Z: Vertikale Wurzelfrakturen bei wurzelkanalbehandelten Zähnen – Ätiologie, Diagnose und Therapie. *Endodontie* 11: 115–121 (2002)
62. Komorowski R, Grad H, Wu XY, Friedman S: Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentin. *J. Endod.* 26: 315–317 (2000)
63. Körber K: Kap. 2 Kronenersatz, Vorbehandlung der Zahnwurzel. In: Körber K (Hrsg) *Zahnärztliche Prothetik Band II*, Thieme, Stuttgart: S.142 (1974)
64. Kramer E, Robra B, Walther W, Heners M: Vertikale Wurzelfrakturen an endodontisch behandelten Zähnen. *Dtsch Zahnärztl Z* 63: 330–336 (2008)
65. Kumaran P et al.: Dentinal defects before and after rotary root canal instrumentation with three different obturation techniques and two obturating materials. *J. Conserv. Dent. JCD* 16: 522–526 (2013)
66. KZBV-Jahrbuch 2011: Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (Hrsg), Köln, (2012)
67. Lam PPS, Palamara JEA, Messer HH: Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *J. Endod.* 31: 529–532 (2005)
68. Langer B, Stein SD, Wagenberg B: An evaluation of root resections. A ten-year study. *J. Periodontol.* 52: 719–722 (1981)
69. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH: Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J. Endod.* 25: 99–104 (1999)
70. Lertchirakarn V, Timyam A, Messer HH: Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *J. Endod.* 28:

217–219 (2002)

71. Linaburg RG, Marshall FJ: The diagnosis and treatment of vertical root fractures: report of case. *J. Am. Dent. Assoc.* 1939 86: 679–683 (1973)
72. Lommel T, Meister F, Gerstein H, Davies E, Tilk M: Alveolar bone loss associated with vertical root fractures. Report of six cases. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 45: 909–919 (1978)
73. Löst C, Bengel W, Hehner B: Zahninfraktion. *Schweiz Montasschreiben Zahnmed* 99: 1033–1037 (1989)
74. Luebke RG: Vertical crown-root fractures in posterior teeth. *Dent. Clin. North Am.* 28: 883–894 (1984)
75. Lustig JP, Tamse A, Fuss Z: Pattern of bone resorption in vertically fractured, endodontically treated teeth. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 90: 224–227 (2000)
76. Marending M et al.: Effect of sodium hypochlorite on human root dentine--mechanical, chemical and structural evaluation. *Int. Endod. J.* 40: 786–793 (2007)
77. Marending M, Zehnder M: Beeinflussung der mechanischen Dentineigenschaften durch die chemische Wurzelkanalaufbereitung. *Endodontie* 16: 333–346 (2007)
78. Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H: Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 49: 243–253 (1980)
79. Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H, Bell WA: An additional clinical observation in two cases of vertical root fracture. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 52: 91–96 (1981)
80. Morfis AS: Vertical root fractures. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 69: 631–635 (1990)
81. Moule AJ, Kahler B: Diagnosis and management of teeth with vertical root fractures. *Aust. Dent. J.* 44: 75–87 (1999)
82. Nair MK, Nair UDP, Gröndahl HG, Webber RL, Wallace JA: Detection of artificially induced vertical radicular fractures using tuned aperture computed

- tomography. *Eur. J. Oral Sci.* 109: 375–379 (2001)
83. Nerwich A, Figdor D, Messer HH: pH changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. *J. Endod.* 19: 302–306 (1993)
84. Nicopoulou-Karayianni K, Bragger U, Lang NP: Patterns of periodontal destruction associated with incomplete root fractures. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 26: 321–326 (1997)
85. Nykiel K: Der Einfluss der postendodontischen Restauration auf das Überleben posteriorer Zähne in situ. Med Dissertation, Universität Münster (2010)
86. O'Reilly PM: Management of a vertically fractured endodontically treated tooth. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 60: 208–211 (1985)
87. Onçağ O et al.: Comparison of antibacterial and toxic effects of various root canal irrigants. *Int. Endod. J.* 36: 423–432 (2003)
88. Onnink PA, Davis RD, Wayman BE: An in vitro comparison of incomplete root fractures associated with three obturation techniques. *J. Endod.* 20: 32–37 (1994)
89. Papa J, Cain C, Messer HH: Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endod. Dent. Traumatol.* 10: 91–93 (1994)
90. Peak JD, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM: The outcome of root canal treatment. A retrospective study within the armed forces (Royal Air Force). *Br. Dent. J.* 190: 140–144 (2001)
91. Peciuliene V, Reynaud AH, Balciuniene I, Haapasalo M: Isolation of yeasts and enteric bacteria in root-filled teeth with chronic apical periodontitis. *Int. Endod. J.* 34: 429–434 (2001)
92. Peciuliene V, Rimkuvienė J: Vertical Root Fractures in Endodontically Treated Teeth: A Clinical Survey. *Baltic Dental and Maxillofacial Journal* 6: 77–80 (2004)
93. Pitts DL, Natkin E: Diagnosis and treatment of vertical root fractures. *J. Endod.* 9: 338–346 (1983)

94. Polson AM: Periodontal destruction associated with vertical root fracture. *J. Periodontol.* 48: 27–32 (1977)
95. Rao MSR et al.: Comparison of the remaining dentin thickness in the root after hand and four rotary instrumentation techniques: an in vitro study. *J. Contemp. Dent. Pract.* 14: 712–717 (2013)
96. Rasmussen ST: Fracture properties of human teeth in proximity to the dentinoenamel junction. *J. Dent. Res.* 63: 1279–1283 (1984)
97. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int. Endod. J.* 28: 12–18 (1995)
98. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH: Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J. Endod.* 15: 512–516 (1989)
99. Register H: The physico-prosthetic crown and bridge, with reference to fundamantialis. *The Dental Cosmos* 52: 973–981 (1910)
100. Reitenmeier N, Schwenzer M, Ehrenfeld M: Orofaziales System. In: Reitemeier B, Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg) Einführung in die Zahnmedizin, Thieme, Stuttgart: S. 112 (2006)
101. Reuver H: Vertikale Wurzelfrakturen nach Anwendung der lateralen Kondensationstechnik. *Endodontie* 5: 207–218 (1996)
102. Revision: einer Wurzelkanalbehandlung - Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ, Stand 7/2004, V. 3.0. *DZZ* 59 (2004)
103. Rocke H, Kerschbaum T, Fehn C: Zur Verweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 783–786 (1997)
104. Rosen H: Cracked tooth syndrome. *J. Prosthet. Dent.* 47: 36–43 (1982)
105. Rosenberg B, Murray PE, Namerow K: The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dent. Traumatol. Off. Publ. Int. Assoc. Dent. Traumatol.* 23: 26–29 (2007)
106. Rud J, Omnell KA: Root fractures due to corrosion. Diagnostic aspects. *Scand. J. Dent. Res.* 78: 397–403 (1970)
107. Rundquist BD, Versluis A: How does canal taper affect root stresses? *Int.*

Endod. J. 39: 226–237 (2006)

108. Saunders WP, Saunders EM: Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. Endod. Dent. Traumatol. 10: 105–108 (1994)

109. Saw LH, Messer HH: Root strains associated with different obturation techniques. J. Endod. 21: 314–320 (1995)

110. Schäfer E: „One-visit-endodontics“ – eine Evidenz-basierte Therapie des infizierten Wurzelkanals? Dtsch Zahnärztl Z 59: 609–610 (2004)

111. Schäfer E: Wurzelkanalfüllmaterialien. Schweiz Montasschreiben Zahnmed 110: 649–661 (2000)

112. Schäfer E: Wurzelkanalaufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 55: 730–740 (2000)

113. Schmalbruch A: Behandlungsdauer von Wurzelkanalbehandlungen, Recallfrequenz sowie Verweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne: Eine retrospektive, statistische Studie. Med Dissertation, Universität Gießen (2006)

114. Sedgley CM, Messer HH: Are endodontically treated teeth more brittle? J. Endod. 18: 332–335 (1992)

115. Shemesh H, van Soest G, Wu M-K, Wesselink PR: Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. J. Endod. 34: 739–742 (2008)

116. Sinai IH, Katz HR: Management of a vertical root fracture. J. Endod. 4: 316–317 (1978)

117. Siqueira J, Rocas I: Mikrobiologie endodontischer Infektionen. J Endod 15: 109–121 (2006)

118. Siqueira JF Jr: Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. Int. Endod. J. 34: 1–10 (2001)

119. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. J. Endod. 16: 498–504 (1990)

120. Slaton CC et al.: Identification of resected root-end dentinal cracks: a comparative study of visual magnification. J. Endod. 29: 519–522 (2003)

121. Slaus G, Bottenberg P: A survey of endodontic practice amongst Flemish

- dentists. *Int. Endod. J.* 35: 759–767 (2002)
122. Sorensen JA, Martinoff JT: Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J. Prosthet. Dent.* 51: 780–784 (1984)
123. Sornkul E, Stannard JG: Strength of roots before and after endodontic treatment and restoration. *J. Endod.* 18: 440–443 (1992)
124. Soros C, Zinelis S, Lambrianidis T, Palaghias G: Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction ex vivo: evaluation of periodontal simulation and fracture load information. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 106: 64–70 (2008)
125. Stenner L, Kockapan C: Vertikale Wurzelfrakturen, eine Übersicht. *Endodontie* 20: 9–22 (2011)
126. Stewart GG: The detection and treatment of vertical root fractures. *J. Endod.* 14: 47–53 (1988)
127. Stippel H: Endo – Ist die Wurzelkanal-Desinfektion mit ChKM wirklich überlegen. *Daz Forum* 86: 14–16 (2005)
128. Stoll R, Betke K, Stachniss V: The influence of different factors on the survival of root canal fillings: a 10-year retrospective study. *J. Endod.* 31: 783–790 (2005)
129. Stoll R, Yüksel S, Frankenberger R: Die Wurzelkanalbehandlung – Operation am offenen Zahn! Thesen zur endodontischen Behandlung. *Wissen kompakt* 3: 25–32 (2009)
130. Sugaya T, Kawanami M, Noguchi H, Kato H, Masaka N: Periodontal healing after bonding treatment of vertical root fracture. *Dent. Traumatol. Off. Publ. Int. Assoc. Dent. Traumatol.* 17: 174–179 (2001)
131. Tagger M, Katz A, Tamse A: Apical seal using the GPII method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 78: 225–231 (1994)
132. Tamse A: Ätiologie, Diagnose und Behandlung vertikaler Wurzelfrakturen bei endodontisch behandelten Zähnen. *Endodontie* 3: 175–184

(1994)

133. Tamse A: Vertical root fractures in endodontically treated teeth: diagnostic signs and clinical management. *J Endod* 13: 84–94 (2006)
134. Tamse A: Iatrogenic vertical root fractures in endodontically treated teeth. *Endod. Dent. Traumatol.* 4: 190–196 (1988)
135. Tamse A: Etiology, diagnosis and radiographic features of vertical root fractures. *Giornale Italiano di Endod* 9: 10–18 (1995)
136. Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J: An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *J. Endod.* 25: 506–508 (1999)
137. Tamse A, Kaffe I, Lustig J, Ganor Y, Fuss Z: Radiographic features of vertically fractured endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 101: 797–802 (2006)
138. Testori T, Badino M, Castagnola M: Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *J. Endod.* 19: 87–91 (1993)
139. Thiele L, Hickel R, Folwaczny M: Der endodontische Misserfolg – von der Definition zur Strategie. *Dtsch Zahnärztl Z* 58: 144–150 (2003)
140. Tilashalski K, Gilbert H, Boykin M, Shelton B: Root canal treatment in a population-based adult sample: Status of teeth after endodontic treatment. *J Endod* 30: 577–580 (2004)
141. Tonami K, Takahashi H: Effects of aging on tensile fatigue strength of bovine dentin. *Dent. Mater. J.* 16: 156–169 (1997)
142. Torbjörner A, Karlsson S, Odman PA: Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J. Prosthet. Dent.* 73: 439–444 (1995)
143. Trabert K, Caputo A, Abou-Rass M: Tooth fracture. A comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endod* 4: 341–345 (1978)
144. Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I: pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J. Endod.* 7: 17–21 (1981)
145. Trope M, Ray HL Jr: Resistance to fracture of endodontically treated

- roots. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 73: 99–102 (1992)
146. Uranga A, Blum JY, Esber S, Parahy E, Prado C: A comparative study of four coronal obturation materials in endodontic treatment. J. Endod. 25: 178–180 (1999)
147. Vertucci F, Haddix J: Tooth morphology and access cavity preparation. In: Hargreaves KM, Cohen S (Hrsg) Cohen's Pathway of the Pulp, 10. Aufl, Ed Mosby, St. Louis: S. 136-222 (2011)
148. Vire DE: Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. J. Endod. 17: 338–342 (1991)
149. Walton RE: Intracanal medicaments. Dent. Clin. North Am. 28: 783–796 (1984)
150. Walton RE, Michelich RJ, Smith GN: The histopathogenesis of vertical root fractures. J. Endod. 10: 48–56 (1984)
151. Weber T: Endodontie. In: Weber T (Hrsg) Memorix Zahnmedizin, 3. Aufl, Thieme, Stuttgart: S. 436, 443 (2010).
152. Weber W: Vergleichende Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit dreier Methoden zur Behandlung von Wurzelkanälen in vivo. Zahnmed Dissertation, Berlin (1990)
153. Wessling P: Darstellung des Fistelgangverlaufs – wesentliches Kriterium der endodontischen Untersuchung. Endodontie 1: 235–238 (1992)
154. Wessling P, Heidemann D, Hülsmann M, Löst C: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. Endodontie 13: 271–284 (2004)
155. Whitbeck E, Quinn G, Quinn J: Effect of calcium hydroxide on the fracture resistance of dentin. J Res Natl Inst Stand Technol 116: 743–749 (2011)
156. White JD, Lacefield WR, Chavers LS, Eleazer PD: The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. J. Endod. 28: 828–830 (2002)
157. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T: The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. J. Endod. 23: 533–534 (1997)

158. Yang SF, Rivera EM, Walton RE: Vertical root fracture in nonendodontically treated teeth. *J. Endod.* 21: 337–339 (1995)
159. Yeh CJ: Fatigue root fracture: a spontaneous root fracture in non-endodontically treated teeth. *Br. Dent. J.* 182: 261–266 (1997)

Universitätsklinikum Ulm - Department für Zahnheilkunde
Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
Albert-Einstein-Allee 11, 89081 Ulm

Department für Zahnheilkunde

Klinik für Zahnerhaltungskunde u. Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. B. Haller

Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm
Telefon: (0731) 500-64110
Telefax: (0731) 500-64137
<http://www.uni-ulm.de/klinik/zmk1/index.htm>

Ulm, den 27.07.2010

Patienteneinladung / Patienteninformation

Titel des Forschungsprojektes:

Klinische Follow-up-Studie zur Prävalenz von vertikalen Wurzelfrakturen bei wurzelkanalgefüllten Molaren

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

im Rahmen eines Forschungsprojekts untersuchen wir zurzeit die Verweildauer von Zähnen, die in den letzten 10 Jahren in der Universitätszahnklinik Ulm eine Wurzelkanalfüllung erhalten haben. Berücksichtigt werden hierbei besonders Patienten, bei denen wie in Ihrem Fall einer der hinteren Seitenzähne (Molaren) behandelt wurde. Das Risiko einer Wurzelfraktur ist bei wurzelkanalbehandelten Zähnen erhöht, da diese mechanisch geschwächt sind. Entlang der haarfeinen Risse dringen Bakterien unbemerkt in das Zahnfach vor und verursachen dort einen Knochenabbau. Vertikale Frakturen bleiben meist lange unentdeckt, bis sie sich anhand von Abszessen, Entzündungen und tiefen Zahnfleischtaschen bemerkbar machen.

Zähne mit vertikalen Wurzelfrakturen können nach dem heutigen Stand der Wissenschaft nicht erhalten werden. Eine frühzeitige Erkennung derartiger Frakturen ist aber besonders wichtig, da die unbemerkte Zerstörung des Knochens auch die gesunden Nachbarzähne befallen kann, so dass für die nachfolgende Versorgung mit Brücken oder Implantaten nicht mehr genügend Knochen zur Verfügung steht.

Ob an Ihrem wurzelkanalbehandelten Zahn eine vertikale Wurzelfraktur vorliegt, lässt sich durch eine einfache klinische Untersuchung herausfinden, zu der wir Sie im Rahmen unseres Forschungsprojekts herzlich einladen.

Sollten wir mit diesem Schreiben Ihr Interesse geweckt haben, so können Sie sich zur Vereinbarung eines für Sie selbstverständlich kostenlosen Untersuchungstermins gerne mit dem Kliniksekretariat der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie in Verbindung setzen (Telefonnummer: 0731/500 64110). Die beigelegte Patienteninformation enthält detaillierte Hinweise zur Zielsetzung und zum Ablauf der Studie. Für Fragen stehen wir unter der genannten Rufnummer gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. B. Haller

M. Wagner (cand. med. dent.)

Patienteninformation

Einschlusskriterien:

In die Studie eingeschlossen werden Patienten die im Laufe der letzten 10 Jahre eine Wurzelkanalbehandlung in der Zahnmedizinischen Klinik der Universität Ulm erhalten haben. Berücksichtigt werden hierbei besonders Patienten, bei denen einer der hinteren Seitenzähne (Molaren) behandelt wurde.

Ausschlusskriterien:

Patienten mit dem Risiko des Erwerbs einer infektiösen Endokarditis, Patienten mit dem Verdacht auf eine Endokarditis oder einer überstandenen Endokarditis, sowie Patienten mit künstlichen Herzklappen, können an der Studie nicht teilnehmen.

Inhalt der Studie:

Die Überlebenswahrscheinlichkeit wurzelkanalgefüllter Zähne hängt von vielen Faktoren ab. Zumeist mindern Karies, eine Überbelastung oder eine Parodontitis das Überleben eines solchen Zahnes. In seltenen Fällen jedoch kann auch eine vertikale Fraktur eine Komplikation einer Wurzelkanalbehandlung darstellen, die oftmals erst nach einigen Jahren auftritt. Eine solche Fraktur hat zur Folge, dass es zu einer entzündlichen Reaktion des den Zahn umgebenden Knochens kommt und somit im weiteren Verlauf Probleme mit dem betreffenden Zahn entstehen und oftmals Schmerzen auftreten. Eine vertikale Wurzelfraktur beschreibt die Fraktur eines Zahnes in Längsrichtung, also von der Krone in Richtung Wurzelspitze und wird vom Patienten nicht durch das sofortige Auftreten von Schmerz bemerkt. Es bricht also kein Stück vom Zahn ab. Um eine solche Fraktur festzustellen bedient man sich zumeist des Abtastens des gesamten betroffenen Zahnes und einer genauen Beschreibung evtl. Symptome des Patienten.

Ziel des Forschungsprojektes:

Im Verlauf der Studie soll die Langzeiteffektivität aktueller Wurzelkanalbehandlungen untersucht werden. Dabei sollen Patienten mit abgeschlossenen erfolgreichen Wurzelkanalbehandlungen nachuntersucht werden. Hierbei können mögliche Komplikationen, mit besonderem Augenmerk auf vertikale Wurzelfrakturen erkannt werden. Ziel der Studie ist es mögliche Risikofaktoren und die Häufigkeit vertikaler Wurzelfrakturen, die zum späteren Verlust des Zahnes nach erfolgreicher Wurzelkanalbehandlung führen, zu erkennen und zu dokumentieren.

Ablauf des Forschungsprojektes:

In dieses Forschungsprojekt werden nur Patienten der Zahnmedizinischen Klinik des Universitätsklinikums Ulm eingeschlossen, bei denen sowohl die Einschlusskriterien als auch Ausschlusskriterien des Forschungsprojektes erfüllt sind. Im Zuge der Studie werden Sie zu einer Untersuchung in die Zahnklinik der Universität Ulm eingeladen. Hierbei wird der Behandler zunächst mit Ihnen einen Fragenkatalog durchgehen um genauere Informationen über den betreffenden Zahn zu erhalten und evtl. Beschwerden über diesen zu erfahren. Im Anschluss daran wird im Rahmen dieses Forschungsprojektes eine klinische Untersuchung Ihres Gebisses durchgeführt. Dabei wird ein Status Ihrer Zähne erhoben, sowie eine genaue Befundung des zu untersuchenden wurzelkanalgefüllten Zahnes erhoben. Dies beinhaltet die Beurteilung alter, von diesem Zahn vorhandener Röntgenbilder, sowie das Inspizieren und Sondieren des gesamten Zahnes, sowie dessen Zahnhalteapparates. Desweiteren wird ein Status Ihres kompletten Zahnhalteapparates erhoben, um Anzeichen einer Parodontitis ggf. erkennen zu können. Die komplette Untersuchung sollte hierbei für Sie einen Zeitrahmen von ca. 30min im Normalfall nicht überschreiten.

Sollten im Rahmen dieser Studie evtl. Komplikationen mit diesem wurzelkanalgefüllten Zahn, einem anderen Zahn oder Ihrem Zahnhalteapparat erkannt werden, werden Sie gerne zur weiteren Behandlung durch die Zahnklinik der Universität Ulm betreut, was jedoch nicht Teil dieser Studie ist.

Ihre eigentliche zahnmedizinische Behandlung wird durch diese Studie nicht beeinflusst oder verändert und läuft weiter wie gewohnt ab. Es werden keine Medikamente in dieser Studie verabreicht, außerdem wird keine über das normale Maß hinausgehende zahnärztliche Diagnostik, bzw. Röntgenuntersuchung benötigt.

Dauer des Forschungsprojektes:

Die Dauer des Forschungsprojektes beschränkt sich auf die oben genannte einmalige Untersuchung.

Medikamente:

Im Zuge dieses Forschungsprojektes werden keine Medikamente eingesetzt.

Risiken und mögliche Beschränkungen:

Grundsätzlich entstehen in diesem Forschungsprojekt keine über das normale Maß einer zahnärztlichen Untersuchung hinausreichende Risiken. In dem besonderen Fall der infektiösen Endokarditis und der Ausschwemmung von Bakterien aufgrund des Sondierens, sind Patienten mit überstandener oder dem Risiko einer Endokarditis von dieser Studie grundsätzlich ausgeschlossen. Bedingt durch das Sondieren der Taschentiefen des wurzelkanalgefüllten Zahnes und des Zahnhalteapparates, kann ein vorübergehendes Bluten des Zahnfleisches, sowie leichte Schmerzen an diesem entstehen. Diese Schmerzen sollten jedoch die Schmerzen einer normalen zahnärztlichen Routineuntersuchung nicht übersteigen.

Einschränkungen und Pflichten der Teilnehmer an diesem Forschungsprojekt:

Aufgrund der oben bereits genannten Gründe sind Patienten mit einem Endokarditisrisiko sowie Patienten mit künstlichen Herzklappen von der Studie ausgeschlossen.

Finanzielle Entschädigung:

Für die Teilnahme an diesem Forschungsprojekt werden Sie finanziell nicht entschädigt. Weder Ihnen, noch Ihrer Krankenkasse werden durch die Teilnahme an dieser Studie studienbedingte Mehrkosten entstehen.

Freiwilligkeit:

An diesem Forschungsprojekt nehmen Sie freiwillig teil. Ihr Einverständnis können Sie jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen. Dieser eventuelle Widerruf hat keine Auswirkung auf Ihre weitere medizinische Betreuung.

Erreichbarkeit des Projektleiters:

Sollten während des Verlaufes des Forschungsprojektes Fragen auftauchen, so haben Sie jederzeit die Möglichkeit, den Leiter des Forschungsprojektes, Herrn Prof. Dr. B. Haller zu kontaktieren: Telefonnummer 0731/500-64110

Versicherung:

Während der Teilnahme an dem Forschungsprojekt genießen Sie Versicherungsschutz. Es gelten die allgemeinen Haftungsbedingungen.

Einen Schaden, der Ihrer Meinung nach auf die klinische Studie zurückzuführen ist, melden Sie bitte unverzüglich dem Prüfarzt.

Einer anderweitigen ärztlichen Behandlung, welche die Behandlung im Rahmen dieser klinischen Studie beeinflussen könnte, sollten Sie sich (ausgenommen im Notfall) nur nach Rücksprache mit dem Prüfarzt unterziehen.

Schweigepflicht/Datenschutz:

Alle Personen, welche Sie im Rahmen dieser klinischen Studie betreuen, unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht und sind auf das Datengeheimnis verpflichtet.

Die studienbezogenen Untersuchungsergebnisse sollen in anonymisierter Form in wissenschaftlichen Veröffentlichungen verwendet werden.

Soweit es zur Kontrolle der korrekten Datenerhebung erforderlich ist, dürfen autorisierte Personen (z.B.: des Auftraggebers, der Universität) Einsicht in die studienrelevanten Teile der Krankenakte nehmen.

Sofern zur Einsichtnahme autorisierte Personen nicht der obengenannten ärztlichen Schweigepflicht unterliegen, stellen personenbezogene Daten, von denen sie bei der Kontrolle Kenntnis erlangen, Betriebsgeheimnisse dar, die geheim zu halten sind.

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG

Name der Studie: ***Klinische Follow-up-Studie zur Prävalenz von vertikalen Wurzelfrakturen bei wurzelkanalgefüllten Molaren***

Inhalt, Vorgehensweise, Risiken und Ziel des obengenannten Forschungsprojektes sowie die Befugnis zur Einsichtnahme in die erhobenen Daten hat mir Frau/Herrausreichend erklärt.

Ich hatte Gelegenheit Fragen zu stellen und habe hierauf Antwort erhalten.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich für oder gegen die Teilnahme am Projekt zu entscheiden.

Eine Kopie der Patienteninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Ich willige in die Teilnahme am Forschungsprojekt ein.

.....
(Name des Patienten)

.....
Ort, Datum (Unterschrift des Patienten)

INFORMATION UND EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG ZUM DATENSCHUTZ

Bei wissenschaftlichen Studien werden persönliche Daten und medizinische Befunde über Sie erhoben. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor Teilnahme an der Studie folgende freiwillige Einwilligung voraus:

1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten/Krankheitsdaten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung verarbeitet werden
2. Außerdem erkläre ich mich damit einverstanden, dass eine autorisierte und zur Verschwiegenheit verpflichtete Person (z.B.: des Auftraggebers, der Universität) in meine erhobenen personenbezogenen Daten Einsicht nimmt, soweit dies für die Überprüfung des Projektes notwendig ist. Für diese Maßnahme entbinde ich den Arzt von der ärztlichen Schweigepflicht.

.....
(Name des Patienten)

.....
Ort, Datum (Unterschrift des Patienten)

Universitätsklinikum Ulm

Untersuchungsparameter

Name des Patienten: _____ Alter: männlich
 Weiblich

Zahn: _____ Anzahl der Kanäle: _____

Durchgeführte Behandlung: (Anhand der Krankenakte)

- Zahn initial vital Zahn initial avital
 Perk initial negativ Perk initial positiv
 Pat. mit initialen Schmerzen \Rightarrow Diagnose _____
 Maschinelle Aufbereitung Manuelle Aufbereitung

Zeitabstände: Trep-WK _____ Wo. WK-WF _____ Wo.

WF-restaurativen Versorgung _____ Jahre, Monate

WF-Vorstellung zur Studie _____ Jahre, Monate

ISO: MAF _____ FF _____

Stift inseriert _____ Abstand zu Röntgen-Apex im mm ca. _____

Bereits erfolgte Ex \Rightarrow Aufgrund von VRF

Beurteilung von Röntgenbildern:

- Qualität der WF: Wandständig
 (Abfüllkontrolle) Homogen
 Abstand zu Röntgen-Apex _____ mm
 Überfüllt ~ _____ mm²

initial / nach erfolgter WF / bei Verlaufskontrolle

Aufhellung	apikal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	lateral	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	interradikulär	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diskontinuität (Riss/Fraktur)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Separation von Wurzelfragmenten		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Keine Wandständigkeit von WF im Vergleich zu WF-Kontrolle				<input type="checkbox"/>
Radioluzenz neben verankerten Stiften		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verbreiteter Parodontalspalt		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Treppenförmige Defekte		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
V-förmige koronal breite Knochendefekte		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Verdacht auf VRF anhand: _____

Untersuchung:

Anamnese:

- Knacken während der Behandlung
- „Unwohlsein“ mit dem Zahn, wiederkehrende leichte bis mäßige Schmerzen, wenn ja, wie lange schon _____ Monate
- Aufbissemphindlichkeit, wenn ja, wie lange schon _____ Monate
- Lockerung von Versorgungen, wenn ja, welche _____

Ohne Zusammenhang mit proth.
Versorgungen

Brückenpfeiler

Halteelement für Prothesen, wenn ja
welche _____

Antagonist ja nein

Kaufläche gesund

Füllung _____

TK _____

K _____

Brückenglied _____

Endständiger Zahn

Perkussion positiv

Lockerung Grad _____

Schwellung

Fistel

Sichtbarer Frakturspalt

Tastbarer Frakturspalt

Auffällige Sondierungstiefe _____ mm

V-förmiger Defekt

Verdacht auf VRF, wenn ja
warum _____

Verdacht auf VRF, warum _____

VRF sicher diagnostiziert

Sonstiges: _____

Auswertung Teil 1

Patientenrekrutierung und Kontaktaufnahme	Gesamt (n=498)
Patienten angeschrieben	498 (100%)
nicht angekommene Briefe	41 (8%)
telef. kontaktierte Patienten	227 (46%)
erschienene Patienten	84 (17%)
erschienen Patienten der telef. Kontaktierten	84 aus 227 (37%)

Behandelte Zähne	Gesamt (n=589)
	16 97 (16%)
	26 89 (15%)
	36 75 (13%)
	46 94 (16%)
	17 58 (10%)
	27 57 (10%)
	37 46 (8%)
	47 73 (12%)
untersuchte Zähne	114 (19%)
nicht untersuchte Zähne	484 (81%)

Untersuchte Zähne	Gesamt (n=114)
	16 15 (13%)
	26 18 (16%)
	36 19 (17%)
	46 14 (12%)
	17 14 (12%)
	27 15 (13%)
	37 7 (6%)
	47 12 (11%)
verifizierte Frakturen	11 (10%)
nicht verifizierte Frakturen	7 (6%)
sicher gesunde Zähne	96 (84%)
als gesund gezählte Zähne	103 (90%)

Frakturen	Gesamt (n=11)
	16 0 (0%)
	26 1 (9%)
	36 1 (9%)
	46 2 (18%)
	17 2 (18%)
	27 2 (18%)
	37 2 (18%)
	47 1 (9%)
6 er	4 (36%)
7 er	7 (64%)

Auswertung Teil 2

	Fraktur (n=11)	Gesund (n=73)	Gesamt (n=84)
Durchschnittsalter in Jahren	Mittelwert (±Std.abweichung) 55 (±14,3)	54,5 (±13)	55 (±13,1)
	Median (Min-Max) 57 (33-72)	55,5 (22-78)	56,5 (22-78)
Geschlecht	m 7 (63%) w 4 (36%)	35 (46%) 41 (54%)	41 (49%) 43 (51%)
Wie viele Patienten haben	1 Zahn 11 (100%) 2 Zähne 0 (0%) 3 Zähne 0 (0%) 4 Zähne 0 (0%)	51 (67%) 15 (20%) 6 (8%) 1 (1%)	62 (74%) 15 (18%) 6 (7%) 1 (1%)
Anzahl der Zähne mit	1 Kanal 0 (0%) 2 Kanälen 3 (18%) 3 Kanälen 8 (73%) 4 Kanälen 1 (9%)	1 (1%) 9 (9%) 79 (77%) 14 (14%)	1 (1%) 11 (10%) 87 (76%) 15 (13%)
Vitalität initial	vital 8 (72%) avital 3 (27%) unbekannt 0 (0%)	45 (44%) [39-93] [6-61] [0-28]	53 (47%) [37-56] [43-62] [0-5]
Perkussion initial	ja 6 (55%) nein 5 (45%) unbekannt 0 (0%)	43 (42%) [23-83] [17-77] [0-28]	49 (43%) [34-53] [47-66] [0-5]
Schmerzen initial	ja 6 (55%) nein 5 (45%) unbekannt 0 (0%)	52 (50%) [23-83] [17-77] [0-28]	58 (51%) [41-60] [39-58] [0-5]
Initiale Diagnose	exazerbierte chronische apikale PA 1 (9%) irreversible Pulpitis 9 (82%) chronische apikale PA 1 (9%) Wurzelamputationen 0 (0%) unbekannt 0 (0%)	20 (19%) [0-41] [48-98] [0-41] [0-28]	21 (18%) [12-27] [32-52] [27-46] [0-7]
Aufbereitung	maschinell 2 (18%) manuell 9 (82%)	16 (16%) [2-52] 87 (84%) [48-98]	18 (16%) [10-24] 96 (84%) [76-90]
Trep - WK in Wochen	Mittelwert (±Std.abweichung) 3,7 (±3,6)	3,9 (±5,7)	3,9 (±5,6)
	Median (Min-Max) 3 (0-12)	2 (0-36)	2 (0-36)
WK - WF in Wochen	Mittelwert (±Std.abweichung) 7,7 (±9,4)	4,8 (±5,2)	5,1 (±5,8)

Auswertung Teil 2

Median (Min-Max)	6 (0-36)	3 (0-36)	3 (0-36)
Mittelwert (±Std. abweichung)	3,6 (±8,7)	6,3 (±8,2)	6 (±8,3)
Median (Min-Max)	1 (0-31)	2 (0-41)	1 (0-41)
ja	5 (45%)	29 (28%)	34 (30%)
nein	6 (55%)	74 (72%)	80 (70%)
unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Mittelwert (±Std. abweichung)	78 (±28)	79 (±32)	79 (±32)
Median (Min-Max)	75 (19-119)	86 (5-127)	84 (5-127)
bekannt	10 (91%)	87 (84%)	97 (85%)
unbekannt	1 (9%)	16 (16%)	17 (14%)
Mittelwert (±Std. abweichung)	41 (±9,2)	40 (±6,4)	41 (±6,7)
Median (Min-Max)	42 (30-60)	40 (25-80)	40 (25-80)
ja	2 (18%)	4 (4%)	6 (5%)
nein	9 (82%)	99 (96%)	108 (95%)
unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
ja	5 (45%)	10 (10%)	15 (13%)
nein	6 (55%)	93 (90%)	99 (87%)
unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
ja	5 (100%)	0 (0%)	5 (33%)
nein	0 (0%)	0 (0%)	6 (40%)
möglich	0 (0%)	4 (40%)	4 (27%)
ja	3 (27%)	27 (26%)	30 (26%)
nein	8 (72%)	76 (74%)	84 (74%)
unbekannt	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Auswertung Teil 3

		Fraktur (n=11)	Konfidenzintervall (95% KI)	Gesund (n=103)	Konfidenzintervall (95% KI)	Gesamt (n=114)	Konfidenzintervall (95% KI)
Wandständigkeit bei Abfüllung	ja	10 (91%)	[69-100]	87 (84%)	[76-91]	97 (85%)	[77-91]
	nein	1 (9%)	[0-45]	15 (15%)	[8-23]	16 (14%)	[8-23]
	unbekannt	0 (0%)	[0-31]	1 (1%)	[0-5]	1 (1%)	[0-5]
Homogenität bei Abfüllung	ja	9 (82%)	[18-98]	75 (73%)	[63-81]	84 (74%)	[65-81]
	nein	2 (18%)	[2-52]	27 (26%)	[18-36]	29 (25%)	[18-34]
	unbekannt	0 (0%)	[0-31]	1 (1%)	[0-5]	1 (1%)	[0-5]
Abstand zum Apex in mm	bekannt	11 (100%)		102 (99%)		113 (99%)	
	unbekannt	0 (0%)		1 (1%)		1 (1%)	
	Mittelwert (±Std.abweichung)	1,2 (±1,6)		0,8 (±1)		0,9 (±1,1)	
	Median (Min-Max)	0,5 (0-5)		0,5 (0-6)		0,5 (0-6)	
Überfüllt bei Abfüllung	ja	3 (27%)	[6-61]	23 (23%)	[15-32]	26 (23%)	[15-32]
	nein	8 (73%)	[39-94]	80 (78%)	[68-85]	88 (77%)	[68-85]
Aufteilung apikal	ja	5 (45%)	[17-77]	75 (73%)	[63-81]	80 (70%)	[61-78]
	nein	6 (55%)	[23-83]	28 (27%)	[19-37]	34 (30%)	[22-39]
nach WF	ja	6 (55%)	[23-83]	65 (63%)	[53-72]	71 (63%)	[53-71]
	nein	5 (45%)	[17-77]	38 (37%)	[28-47]	43 (38%)	[29-47]
bei Kontrolle	ja	5 (45%)	[17-77]	16 (24%)	[5-36]	21 (27%)	[18-30]
	nein	6 (55%)	[23-83]	50 (76%)	[44-83]	56 (73%)	[41-82]
Aufteilung lateral	ja	4 (36%)	[11-69]	26 (25%)	[17-35]	30 (26%)	[19-35]
	nein	7 (64%)	[31-89]	77 (75%)	[65-83]	84 (74%)	[65-81]
nach WF	ja	4 (36%)	[11-69]	25 (24%)	[16-34]	29 (25%)	[18-34]
	nein	7 (64%)	[31-89]	78 (76%)	[66-84]	85 (75%)	[66-82]
bei Kontrolle	ja	3 (27%)	[6-61]	5 (6%)	[3-17]	8 (10%)	[5-21]
	nein	8 (73%)	[39-94]	61 (92%)	[51-97]	63 (90%)	[49-95]
Aufteilung interradikulär	ja	2 (18%)	[2-52]	22 (21%)	[14-31]	24 (21%)	[14-30]
	nein	9 (82%)	[48-98]	81 (79%)	[69-86]	90 (79%)	[70-86]
nach WF	ja	3 (27%)	[6-61]	21 (20%)	[13-29]	24 (21%)	[14-30]
	nein	8 (73%)	[39-94]	82 (80%)	[70-87]	90 (79%)	[70-86]
bei Kontrolle	ja	3 (27%)	[6-61]	14 (21%)	[12-33]	17 (22%)	[13-33]
	nein	8 (73%)	[39-94]	52 (79%)	[47-88]	60 (78%)	[47-87]
Diskontinuität	ja	1 (9%)	[0-45]	0 (0%)	[0-4]	1 (1%)	[0-5]
	nein	9 (91%)	[50-100]	103 (100%)	[96-100]	113 (99%)	[95-100]
nach WF	ja	0 (0%)	[0-28]	1 (1%)	[0-5]	1 (1%)	[0-5]
	nein	11 (100%)	[71-100]	102 (99%)	[95-100]	113 (99%)	[95-100]
bei Kontrolle	ja	2 (18%)	[2-52]	2 (3%)	[0-11]	4 (5%)	[1-13]
	nein	9 (82%)	[48-98]	101 (97%)	[96-100]	110 (95%)	[95-100]

Auswertung Teil 4

	Fraktur (n=11)	Konfidenzintervall (95% KI)	Gesund (n=103)	Konfidenzintervall (95% KI)	Gesamt (n=114)	Konfidenzintervall (95% KI)
Knacken bei der Behandlung	ja	0 (0%)	0 (0%)	[0 - 4]	0 (0%)	[0 - 3]
	nein	10 (91%)	102 (99%)	[95 - 100]	112 (98%)	[94 - 100]
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	[0 - 4]	2 (2%)	[0 - 6]
Unwohlsein mit dem Zahn	ja	2 (18%)	15 (15%)	[2 - 52]	17 (15%)	[9 - 23]
	nein	8 (73%)	87 (84%)	[39 - 94]	95 (83%)	[75 - 90]
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	[0 - 41]	2 (2%)	[0 - 6]
Aufbisempfindlichkeiten	ja	1 (9%)	10 (10%)	[0 - 41]	11 (10%)	[5 - 17]
	nein	9 (82%)	92 (89%)	[48 - 98]	101 (89%)	[81 - 94]
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	[0 - 41]	2 (2%)	[0 - 6]
Lockerung von Versorgungsgeräten	ja	0 (0%)	5 (5%)	[0 - 28]	5 (4%)	[12 - 62]
	nein	10 (91%)	97 (94%)	[59 - 100]	107 (94%)	[88 - 98]
	unbekannt	1 (9%)	1 (1%)	[0 - 41]	2 (2%)	[0 - 6]
PSI	Mittelwert (±Std.abweichung)	1,4 (±1,1)	2,1 (±1,3)		2 (±1,3)	
1. Sextant	Median (Min-Max)	1 (0-4)	2 (0-4)		1 (0-4)	
2. Sextant	Mittelwert (±Std.abweichung)	1,2 (±0,9)	1,4 (±1)		1,4 (±1)	
	Median (Min-Max)	1 (0-3)	1 (0-4)		1 (0-4)	
3. Sextant	Mittelwert (±Std.abweichung)	1,8 (±1,7)	2,3 (±1,3)		2,3 (±1,3)	
	Median (Min-Max)	1 (0-4)	3 (0-4)		3 (0-4)	
4. Sextant	Mittelwert (±Std.abweichung)	1,5 (±1,2)	1,8 (±1,2)		1,8 (±1,2)	
	Median (Min-Max)	1 (0-4)	1 (0-4)		1 (0-4)	
5. Sextant	Mittelwert (±Std.abweichung)	2 (±1)	2 (±0,8)		2 (±0,8)	
	Median (Min-Max)	2 (0-4)	2 (0-4)		2 (0-4)	
6. Sextant	Mittelwert (±Std.abweichung)	1,7 (±1,3)	1,9 (±1,3)		1,9 (±1,3)	
	Median (Min-Max)	1 (0-4)	1 (0-4)		1 (0-4)	
PA - Diagnose	ja	2 (18%)	44 (43%)	[2 - 52]	46 (40%)	[31 - 50]
	nein	9 (82%)	58 (56%)	[48 - 98]	67 (59%)	[49 - 68]
	unbekannt	0 (0%)	1 (1%)	[0 - 28]	1 (1%)	[0 - 5]
Eckzahnführung	ja	4 (36%)	27 (26%)	[11 - 69]	31 (27%)	[19 - 36]
	nein	6 (55%)	74 (72%)	[23 - 83]	80 (70%)	[61 - 78]

Auswertung Teil 4

	1 (9%)	[0-4]	2 (2%)	[0-7]	3 (3%)	[0-7]
unbekannt	1 (9%)	[0-4]	2 (2%)	[0-7]	3 (3%)	[0-7]
Gruppenführung	6 (55%)	[11-69]	74 (72%)	[62-80]	80 (70%)	[61-78]
ja	4 (36%)	[23-83]	27 (26%)	[18-36]	31 (27%)	[19-36]
nein	1 (9%)	[0-4]	2 (2%)	[0-7]	3 (3%)	[0-7]
unbekannt						
bis OK ... im Schnitt 6 5,6						
Vorkontakte	0 (0%)	[0-28]	7 (7%)	[3-14]	7 (6%)	[3-12]
ja	6 (55%)	[23-83]	86 (83%)	[75-90]	92 (81%)	[72-87]
nein	5 (45%)	[17-77]	10 (10%)	[5-17]	15 (13%)	[8-21]
unbekannt						
Schliffacetten	1 (9%)	[0-4]	26 (25%)	[17-35]	27 (24%)	[16-33]
ja	5 (45%)	[17-77]	67 (65%)	[55-74]	72 (63%)	[54-72]
nein	5 (45%)	[17-77]	10 (10%)	[5-17]	15 (13%)	[8-21]
unbekannt						
Karies	1 (9%)	[0-4]	7 (7%)	[3-14]	8 (7%)	[3-13]
ja	5 (45%)	[17-77]	86 (83%)	[75-90]	91 (80%)	[71-87]
nein	5 (45%)	[17-77]	10 (10%)	[5-17]	15 (13%)	[8-21]
unbekannt						
Restaurationen	5 (45%)	[17-77]	29 (28%)	[20-38]	34 (30%)	[22-39]
PV	0 (0%)	[0-28]	1 (1%)	[0-5]	1 (1%)	[0-5]
KK	1 (9%)	[0-4]	0 (0%)	[0-4]	1 (1%)	[0-5]
KI	0 (0%)	[0-28]	11 (11%)	[5-18]	11 (10%)	[5-17]
GT	1 (9%)	[0-4]	46 (45%)	[35-55]	47 (41%)	[32-51]
GK	0 (0%)	[0-28]	1 (1%)	[0-5]	1 (1%)	[0-5]
GI	3 (27%)	[6-61]	14 (14%)	[8-22]	17 (15%)	[9-23]
CO	1 (9%)	[0-4]	1 (1%)	[0-5]	2 (2%)	[0-6]
unbekannt						
Prothetische Versorgung	1 (9%)	[0-4]	14 (14%)	[8-22]	15 (13%)	[8-21]
ja	10 (91%)	[59-100]	89 (86%)	[78-92]	99 (87%)	[79-92]
nein	0 (0%)	[0-28]	0 (0%)	[0-4]	0 (0%)	[0-3]
unbekannt						
Brückenteile	1 (9%)	[0-4]	12 (12%)	[6-19]	13 (11%)	[6-19]
ja	10 (91%)	[59-100]	91 (88%)	[81-94]	101 (89%)	[81-94]
nein	0 (0%)	[0-28]	0 (0%)	[0-4]	0 (0%)	[0-3]
unbekannt						
Halteelement für Prothesen	0 (0%)	[0-4]	2 (2%)	[0-7]	2 (2%)	[0-6]
ja	11 (100%)	[72-100]	101 (98%)	[93-100]	112 (98%)	[94-100]
nein	0 (0%)	[0-28]	0 (0%)	[0-4]	0 (0%)	[0-3]
unbekannt						
Antagonisten	10 (91%)	[59-100]	95 (92%)	[85-97]	105 (92%)	[86-96]
ja	1 (9%)	[0-4]	8 (8%)	[3-15]	9 (8%)	[4-14]
nein	0 (0%)	[0-28]	0 (0%)	[0-4]	0 (0%)	[0-3]
unbekannt						
Restauration der Antagonisten	4 (40%)	[11-69]	15 (16%)	[8-23]	19 (18%)	[10-25]
gesund	0 (0%)	[0-28]	10 (11%)	[5-17]	10 (10%)	[4-16]
AWI	0 (0%)	[0-28]	4 (4%)	[1-10]	4 (4%)	[0-9]
BG	3 (30%)	[6-61]	13 (14%)	[7-21]	16 (15%)	[8-22]
CO	0 (0%)	[0-28]	1 (1%)	[0-5]	1 (1%)	[0-5]
GI						

Auswertung Teil 4

GK	2 (20%)	[2 - 52]	41 (43%)	[30 - 50]	43 (41%)	[29 - 47]
GT	1 (10%)	[0 - 41]	6 (6%)	[2 - 12]	7 (7%)	[3 - 12]
KI	0 (0%)	[0 - 28]	1 (1%)	[0 - 5]	1 (1%)	[0 - 5]
KK	0 (0%)	[0 - 28]	1 (1%)	[0 - 5]	1 (1%)	[0 - 5]
KT	0 (0%)	[0 - 28]	3 (3%)	[0 - 8]	3 (3%)	[0 - 7]
Endständiger Zahn						
ja	4 (36%)	[11 - 69]	41 (40%)	[30 - 50]	45 (39%)	[30 - 49]
nein	7 (64%)	[31 - 89]	62 (60%)	[50 - 70]	69 (61%)	[51 - 70]
unbekannt	0 (0%)	[0 - 28]	0 (0%)	[0 - 4]	0 (0%)	[0 - 3]
Perkussion						
positiv	2 (18%)	[2 - 52]	4 (4%)	[1 - 10]	6 (5%)	[2 - 11]
negativ	6 (55%)	[23 - 83]	89 (86%)	[78 - 92]	95 (83%)	[75 - 90]
unbekannt	3 (27%)	[6 - 61]	10 (10%)	[5 - 17]	13 (11%)	[6 - 19]
Lockerung						
ja	3 (27%)	[6 - 61]	35 (34%)	[25 - 44]	38 (33%)	[25 - 43]
nein	4 (36%)	[11 - 69]	59 (57%)	[47 - 67]	63 (55%)	[46 - 66]
unbekannt	4 (36%)	[11 - 69]	9 (9%)	[4 - 16]	13 (11%)	[6 - 19]
Fistel						
ja	2 (18%)	[2 - 52]	1 (1%)	[0 - 5]	3 (3%)	[0 - 7]
nein	5 (45%)	[17 - 77]	93 (90%)	[83 - 95]	98 (86%)	[78 - 92]
unbekannt	4 (36%)	[11 - 69]	9 (9%)	[4 - 16]	13 (11%)	[6 - 19]
Sichtbarer Frakturspalt						
ja	4 (36%)	[11 - 69]	0 (0%)	[0 - 4]	4 (4%)	[0 - 9]
nein	3 (27%)	[6 - 61]	93 (90%)	[83 - 95]	96 (84%)	[76 - 90]
unbekannt	4 (36%)	[11 - 69]	10 (10%)	[5 - 17]	14 (12%)	[7 - 20]
Tastbarer Frakturspalt						
ja	4 (36%)	[11 - 69]	0 (0%)	[0 - 4]	4 (4%)	[0 - 9]
nein	2 (18%)	[2 - 52]	93 (90%)	[83 - 95]	95 (83%)	[75 - 90]
unbekannt	5 (45%)	[17 - 77]	10 (10%)	[5 - 17]	15 (13%)	[8 - 21]
Auffällige Sondierungstiele						
ja	4 (36%)	[11 - 69]	7 (7%)	[3 - 14]	11 (10%)	[5 - 17]
nein	2 (18%)	[2 - 52]	87 (84%)	[76 - 91]	89 (78%)	[69 - 85]
unbekannt	5 (45%)	[17 - 77]	9 (9%)	[4 - 16]	14 (12%)	[7 - 20]
V-förmiger Defekt						
ja	3 (27%)	[6 - 61]	0 (0%)	[0 - 4]	3 (3%)	[0 - 7]
nein	3 (27%)	[6 - 61]	93 (90%)	[83 - 95]	96 (84%)	[76 - 90]
unbekannt	5 (45%)	[17 - 77]	10 (10%)	[5 - 17]	15 (13%)	[8 - 21]
Verdacht auf VRF (Untersuchung)						
ja	9 (82%)	[48 - 98]	9 (9%)	[4 - 16]	18 (16%)	[10 - 24]
nein	2 (18%)	[2 - 52]	94 (91%)	[84 - 96]	96 (84%)	[76 - 90]
VRF						
verifiziert	11 (100%)	[72 - 100]	0 (0%)	[0 - 4]	11 (10%)	[5 - 17]
nicht verifiziert	0 (0%)	[0 - 28]	7 (7%)	[3 - 14]	7 (6%)	[3 - 12]
ausgeschlossen	0 (0%)	[0 - 28]	96 (93%)	[87 - 97]	96 (84%)	[76 - 90]

Danksagung

Zunächst gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Bernd Haller für die Bereitstellung des Themas, die Betreuung meiner Arbeit sowie ganz besonders für die konstruktiven Anregungen und die intensive Korrektur des Manuskripts.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, durch deren Unterstützung diese Arbeit sowie meine gesamte Ausbildung erst möglich geworden ist.

An dieser Stelle möchte ich auch allen danken, die mich während der gesamten Zeit der Arbeit unterstützt haben.

Dir Christina für deine fortwährende Unterstützung und dein Verständnis.

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt