

Aus der Abteilung Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
(Komm. Direktor: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Vergleichende Untersuchung zur Applikation von Kalziumhydroxideinlagen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Kai T. K. Staemmler
aus Ludwigshafen

Göttingen 2011

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel
1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann
2. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med., Dr. med. dent. Engelke
3. Berichterstatter/in: Prof. Dr. rer. nat. Virsik-Köpp
Tag der mündlichen Prüfung: 19.03.2012

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	5
2. LITERATURÜBERSICHT	7
2.1 Ziele der Wurzelkanalbehandlung	7
2.2 Chemische Wurzelkanalaufbereitung	8
2.2.1 Biozide.....	10
2.2.1.1 Natriumhypochlorit.....	10
2.2.1.2 Chlorhexidin.....	11
2.2.1.3 Chelatoren.....	12
2.2.1.4 EDTA.....	13
2.2.1.5 Zitronensäure	13
2.3 Medikamentöse Einlagefüllungen.....	14
2.3.1 Antibiotika	15
2.3.1.1 Ledermix.....	15
2.3.1.2 Pulpomixine	16
2.3.2 Nicht-phenolische Biozide	16
2.3.2.1 Chlorhexidindigluconat	17
2.3.3 Phenolische Biozide	18
2.4 Kalziumhydroxid	18
2.4.1 Historie	18
2.4.2 Chemie	18
2.4.3 Wirkung	20
2.4.4 Anwendung.....	23
2.4.5 Techniken zum Einbringen von Kalziumhydroxid in den Wurzelkanal....	24
2.4.5.1 Injektion	26
2.4.5.2 Einrotieren mit Wurzelkanalinstrumenten	27
2.4.5.3 Einrotieren mit Förderspiralen	30
2.4.5.4 Ultraschall.....	31
3. ZIEL DER STUDIE	32

4. MATERIAL UND METHODE	33
4.1 Vorbereitende Maßnahmen	33
4.2 Präparation der Kunststoffkanäle.....	33
4.3 Apikaler Verschluss des Kunststoffkanals	35
4.4 Applikation des Kalziumhydroxids	36
4.5 Röntgen	42
4.5.1 Ablauf des Röntgenvorgangs	43
5. ERGEBNISSE	48
5.1 Untersucherübereinstimmung.....	48
5.2 Ergebnisse der Hauptuntersuchung	49
5.2.1 Statistische Auswertung	49
5.2.2 Vergleich der Applikationstechniken in Gruppe 1 (Größe 25).....	51
5.2.3 Vergleich der Applikationstechniken in Gruppe 2 (Größe 35).....	54
5.2.4 Vergleich der Applikationstechniken in Gruppe 3 (Größe 45).....	57
5.3 Zusammenfassung	59
6. DISKUSSION	61
6.1 Diskussion der Methode	61
6.2 Diskussion der Ergebnisse	66
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN	68
8. ZUSAMMENFASSUNG	69
9. LITERATURVERZEICHNIS	71
10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	94
11. TABELLENVERZEICHNIS	95
12. MATERIALLISTE.....	95

1. Einleitung

Ein intaktes Gebiss trägt nicht nur durch seine Kaufunktion zur Lebensqualität des Menschen bei. Neben einer sicheren Phonetik sorgt es für eine in der heutigen Gesellschaft zunehmend wichtiger werdende Ästhetik. Im Zuge des demographischen Wandels erlangt die Zahnerhaltung eine immer bedeutendere Stellung. Der Wunsch nach junglichem Aussehen ist untrennbar mit einem gesunden Gebiss verbunden, herausnehmbarer Zahnersatz verliert an Akzeptanz. Neuere Techniken wie die Implantologie haben in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen, können jedoch nicht in jeder Situation einen natürlichen Zahn bestmöglich ersetzen. Für Funktion und Ästhetik stellt der natürliche Zahn das Optimum dar.

Aus diesen Gründen wurde schon früh versucht, die natürlichen Zähne auch nach einer Nekrose der Pulpa als funktionsfähige Kaueinheiten zu erhalten. Die ersten Aufzeichnungen über endodontische Behandlungen gehen bis ins 18. Jahrhundert zurück. Mit dem Buch „Le Chirurgien Dentiste“ von Pierre Fauchard aus dem Jahre 1728 wird der Beginn der modernen Zahnheilkunde in Verbindung gebracht (Maloney & Maloney 2009). Mit dem Verweis auf eine Art Trepanation des Zahnes und den Gebrauch eines heißen Eisens zum Kauterisieren beschreibt Fauchard (1728) ein Vorgehen, welches sich auch in späteren Aufzeichnungen wiederfindet. Die erste endodontische Behandlung in den USA wird Robert Woofendale (1766) zugeschrieben, welcher ebenfalls die Methode des Kauterisierens erwähnt (Cruse & Bellizzi 1980). Seitdem wurde die Technik der Endodontie ständig verbessert und erweitert.

Im Jahre 1963 erlangte die Endodontie Anerkennung als zahnmedizinische Spezialdisziplin durch die American Dental Association. Grundlage dieser Entwicklung war vor allem das Erforschen und Verstehen der mikrobiologischen Zusammenhänge. Ging man früher davon aus, dass die rein mechanische Präparation eines Wurzelkanals im Vordergrund stehen muss, so weiß man heute, dass große Bereiche des Wurzelkanalsystems der mechanischen Instrumentierung gar nicht zugänglich und nur durch Spülung und medikamentöse Einlagen zu reinigen und zu desinfizieren sind. Medikamentöse Einlagen für eine zusätzliche Desinfektion des Wurzelkanalsystems gehören daher zum Standard in der modernen Endodontie. Das am meisten verbreitete und am besten untersuchte Medikament ist Kalziumhydroxid.

Aufgrund der komplexen Kanalanatomie ist es äußerst wichtig, eine medikamentöse Einlage möglichst homogen im Wurzelkanal zu platzieren, um einen optimalen antimikrobiellen Effekt zu erreichen. Gleichzeitig soll aber auch vermieden werden, das Medikament über den Wurzelkanal hinauszupressen. Bei der Extrusion von medikamentösen Einlagen über das apikale Foramen besteht die Gefahr, das periradikuläre Gewebe durch den entstehenden Druck physikalisch zu schädigen. Neben häufig auftretenden Schmerzen und Schwellungen entwickeln sich beim Überpressen großer Mengen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ an den Kontaktflächen zum vitalen Gewebe lokale Nekrosen, welche jedoch den Erfolg der Behandlung nicht beeinträchtigen (De Moor & De Witte 2002).

Häufig werden den Kalziumhydroxidpräparaten radioopake Füllstoffe wie z. B. Bariumsulfat (BaSO_4) beigemischt. BaSO_4 ist ungiftig, allerdings kann es die röntgenologische Diagnostik der periradikulären Strukturen durch Radioopazitäten beeinträchtigen und wird nicht leicht vom Körper resorbiert, so dass eine verzögerte Wundheilung nach Überpressen von bariumsulfathaltiger $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Paste zu erwarten ist (Alacam et al. 1990).

Hierbei sind die angrenzenden Strukturen wie die Sinus maxillares im Oberkiefer und die Nervi alveolares inferiores im Unterkiefer besonders gefährdet.

Da in der endodontischen Fachliteratur nur wenige Studien darüber vorliegen, wie eine optimale Verteilung des Medikamentes im Wurzelkanal bei gleichzeitiger Verhinderung einer apikalen Extrusion erreicht werden kann, war es Ziel dieser Untersuchung, eine geeignete Applikationsform für Kalziumhydroxid als medikamentöse Einlage im Wurzelkanal zu ermitteln.

2. Literaturübersicht

2.1 Ziele der Wurzelkanalbehandlung

Das Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist der langfristige Erhalt eines avitalen Zahnes als funktionelle Kaueinheit. Nach den Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE) ist es als Erfolg zu werten, wenn ein Zahn vier Jahre nach endodontischer Behandlung keine klinischen Symptome oder röntgenologischen periapikalen Veränderungen zeigt (DGZMK 2006, ESE 2006).

Die Zielvorstellungen der Präparation des Wurzelkanalsystems sind:

1. Entfernung von Pulpagewebe
2. Eliminierung von Mikroorganismen und deren Abbauprodukten
3. Entfernung von Debris
4. Ausformung des Wurzelkanalsystems, um seine Reinigung und Obturation zu ermöglichen.

Die Anforderungen an die Präparation lauten:

1. Erhalt der apikalen Konstriktion
2. Präparationsform soll nicht von der Kanalform abweichen
3. konische Präparation
4. ständige und ausreichende Spülung soll gewährleistet sein
5. Beibehaltung der ursprünglichen Länge.

Die Reinigung und Desinfektion des dreidimensionalen Wurzelkanalsystems sowie die Eliminierung möglichst sämtlicher in ihm enthaltener Mikroorganismen und deren Nebenprodukte bilden die Grundlage für die Erfüllung dieser Ziele (Löst et al. 1992, Trope & Bergenholtz 2002). Das primäre Ziel der mechanischen Wurzelkanalpräparation ist die Entfernung von infiziertem Kanalinhalt, bzw. nach einer Vitalexstirpation, die Entfernung des Pulpagewebes (Hülsmann 2001, 2002). Dabei soll eine Ausformung des Wurzelkanalsystems zur Aufnahme einer dichten, wandständigen und dauerhaften Wurzelkanalfüllung erfolgen.

Durch eine homogene und wandständige Wurzelkanalfüllung sollen den vor allem in den Dentintubuli persistierenden Mikroorganismen die Metabolite entzogen und gleichzeitig eine Reinfektion durch erneut einwandernde Bakterien verhindert werden (Löst et al. 1992). Nach dem Abschluss einer Wurzelkanalbehandlung bzw. bei mehrzeitigen Wurzelkanalbehandlungen muss zwischen den einzelnen Behandlungsterminen stets für einen bakteriendichten Verschluss der Zugangskavität gesorgt werden, da Undichtigkeiten in der Restauration zu einem „coronal leakage“ und damit zur Reinfektion des Endodonts führen (Saunders & Saunders 1994, Carrotte 2004, Hülsmann et al. 2005). Eine bakteriendichte koronale Restauration trägt wesentlich zum langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung bei (Ng et al. 2008).

Da die Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem nicht nur in Haupt- und Seitenkanälen, sondern auch in den Dentintubuli vorhanden sind, stellen sie für die Reinigung und Präparation ein großes Problem dar. Hier gibt es Unterschiede hinsichtlich der Penetrationstiefe und der Art des Keimes. So dringt z. B. *Prevotella intermedia* nur etwa 26 µm in die Dentintubuli ein (Berkiten et al. 2000), wohingegen *Streptococcus sanguis* in bis zu 380 µm Tiefe gefunden wurde (Berkiten et al. 2000), *Enterococcus faecalis* teilweise sogar 2000 µm (Ando & Hoshino 1990, Peters et al. 2000).

Aus diesem Grund ist es nur bedingt möglich, den Wurzelkanal rein mechanisch zu reinigen und auch eine vollständige Desinfektion kann nicht gewährleistet werden. Die mechanische Präparation ist zwar in der Lage, die Anzahl der Bakterien um den Faktor von 100 bis 1000 zu reduzieren, die Mikroorganismen können jedoch nicht vollständig aus dem komplexen Wurzelkanalsystem entfernt werden (Hülsmann et al. 2005, Hülsmann 2006). Daraus kann geschlossen werden, dass das Ziel der Desinfektion und Reinigung nur durch die Kombination von mechanischer Präparation und chemisch-medikamentöser Desinfektion erreicht werden kann (Hülsmann 2001, 2006).

2.2 Chemische Wurzelkanalaufbereitung

Trotz der Fortschritte hinsichtlich der Entwicklung neuer Wurzelkanalinstrumente ist die mechanische Präparation allein nicht in der Lage, das Wurzelkanalsystem von Bakterien und deren Abbauprodukten, sowie von Debris und der Schmierschicht zu

befreien. Auch moderne maschinelle Präparationstechniken mit Nickel-Titan-Instrumenten bearbeiten lediglich 50-70% der Kanalwand (Peters et al. 2001). Daher ist der zusätzliche Einsatz chemischer Spüllösungen notwendig (Hülsmann 2006).

Die Ziele der Spülung des Wurzelkanals sind:

- 1) Desinfektion des Endodonts durch antibakterielle Wirkung
- 2) Auflösung des organischen und anorganischen Wurzelkanalinhalts, auch in den Teilen des endodontischen Systems, die der instrumentellen Bearbeitung nicht zugänglich sind. Hierdurch wird nicht entfernbaren, zurückbleibenden Bakterien das zu ihrem Überleben notwendige Substrat entzogen.
- 3) Inaktivierung bakterieller Lipopolysaccharide (LPS)
- 4) Abtransport der Dentinspäne und somit die Verhinderung der Verbolzung des Wurzelkanals
- 5) Entfernung des „smear layer“
- 6) Gleitmittel für die Wurzelkanalinstrumente (Hülsmann 2006).

An Spüllösungen werden die folgenden Anforderungen gestellt:

- 1) antimikrobielle Wirksamkeit
- 2) gewebeauflösende Wirkung
- 3) Neutralisierung von Endotoxinen
- 4) Verhinderung der Bildung einer Schmierschicht während der Wurzelkanalpräparation bzw. deren Entfernung (Hülsmann 2006).

Die meisten Spülflüssigkeiten, die in der Lage sind, diese Aufgaben ganz oder teilweise zu erfüllen, haben allerdings gleichermaßen auch die Potenz, das periradikuläre Gewebe zu schädigen (Svec & Harrison 1977). Weiterhin sollten sie möglichst wenig Nebenwirkungen aufweisen (Zehnder et al. 2003, Zehnder 2006) und weder mit anderen Spüllösungen, Medikamenten, der Zahnhartsubstanz oder mit Werkstoffen der postendodontischen Restauration negative Wechselwirkungen eingehen (Hülsmann 2006).

2.2.1 Biozide

2.2.1.1 Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit (NaOCl) wird seit 1915 als 0,5%ige Lösung zur Wundbehandlung verwendet (Dakinsche Lösung) (Dakin 1915). NaOCl ist eine farblose oder grünlich-gelbe, wenig beständige Flüssigkeit mit schwachem Chlorgeruch und einem pH-Wert zwischen 10,7 und 12,2. Es ist instabil bei Licht- und Wärmezutritt und sollte daher kühl und vor Licht geschützt gelagert werden. In den frühen zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurde NaOCl auch in der Endodontie verwendet (Crane 1920). Natriumhypochlorit dissoziiert in wässriger Lösung zu Hypochloritionen (OCl⁻) und hypochloriger Säure (HOCl) (Zehnder et al. 2003), die starke Oxidationsmittel darstellen (Dammaschke 1999, Zehnder 2006). Die bei der Spülung entstehende, undissoziierte Hypochloritsäure zerstört die Sulfatgruppen der bakteriellen Enzyme. Die Wirkung beruht auf der Chlorierung funktioneller Gruppen und der Zerstörung der Bakterienzellmembran (Dammaschke 1999). Die Wirkung hängt von Konzentration, Einwirkzeit, Spülvolumen und Organisation und Zugänglichkeit der Mikroorganismen ab. Natriumhypochlorit gilt in der internationalen endodontischen Literatur als Standardmedium zur Wurzelkanalspülung (Spångberg et al. 1979, Zehnder 2006). Die in der Zahnmedizin verwendete ungepufferte Lösung weist einen pH-Wert von 12 auf. In diesem Bereich liegt das Chlor in Form von OCl⁻ vor (Zehnder 2006). Es ist sowohl gegen bakterielle Biofilme als auch gegen *C. albicans* und *E. faecalis* wirksam (Zehnder et al. 2002). Weiterhin macht man sich in der Endodontie die stark gewebeauflösende Fähigkeit zunutze, um nekrotisches Gewebe zu entfernen. In hohen Konzentrationen (5,25%) kann auch vitales Gewebe aufgelöst werden (Dammaschke 1999, Zehnder et al. 2002, Hülsmann 2006). Natriumhypochlorit ist in der Lage, die organischen Bestandteile der Schmierschicht wirkungsvoll aufzulösen. Da die anorganischen Bestandteile hingegen nicht aufgelöst werden, ist eine vollständige Entfernung der Schmierschicht mit NaOCl nicht möglich (Ari & Erdemir 2005, Zehnder et al. 2005 Hülsmann 2006). Des Weiteren neutralisiert NaOCl in geringem Umfang bakterielle Endotoxine (Dammaschke 1999, Zehnder 2006). Tanomaru et al. (2003) kommen hingegen zu einem anderen Schluss. Sie sind der Meinung, dass lediglich Kalziumhydroxid die Fähigkeit zur Neutralisierung von Endotoxinen besitzt. Unterstützung erhalten sie von Martinho & Gomes (2008), welche ebenfalls keine vollständige Neutralisation der Endotoxine durch Spülung mit

2,5% NaOCl feststellen konnten. Durch die Fähigkeit der Lipopolysaccharide, irreversibel an mineralisierte Gewebe wie z. B. Dentin zu binden, können diese sich der Neutralisierung durch NaOCl entziehen. Zunächst müssen mit einem Chelator Ca^{2+} -Ionen aus dem Dentin herausgelöst werden. Daraufhin erfolgt die Applikation einer medikamentösen Einlage mit Kalziumhydroxid. Die Zytotoxizität von Natriumhypochlorit ist abhängig von seiner Konzentration (Zehnder 2006). Bei hohen Konzentrationen kann es in Kontakt mit Haut und Schleimhaut zu Kolliquationsnekrosen, bei Kontakt mit dem Auge zur Irritation der Cornea kommen (Spencer et al. 2007). Ein Überpressen von NaOCl über den Apex hinaus kann zu periapikalen Gewebenekrosen, Nervschädigungen und starken Schmerzen führen (Dammaschke 1999, Spencer et al. 2007). Die Wirkung von Natriumhypochlorit ist im Wesentlichen von der Anzahl freier Chloridionen abhängig. Somit ist nicht die Konzentration allein, sondern vor allem das Volumen der verwendeten Spüllösung von Bedeutung (Zehnder et al. 2003, Hülsmann 2006). Zehnder et al. (2003) untersuchten die antibakterielle Effizienz von NaOCl und stellten fest, dass die Effizienz einer Spüllösung mit 0,5%iger Konzentration sich nicht signifikant von der einer 5%igen-Lösung unterscheidet. Aufgrund dieser Tatsache reicht eine 0,5% bis 1%ige NaOCl-Lösung aus, um das Wurzelkanalsystem effektiv zu reinigen, ohne dabei eine unerwünschte toxische Wirkung beim Kontakt mit dem periapikalen Gewebe zu erzeugen (Zehnder et al. 2003, Hülsmann 2006).

2.2.1.2 Chlorhexidin

Das nicht-phenolische Biozid Chlorhexidin ist in der zahnärztlichen Praxis sehr weit verbreitet. Am häufigsten wird CHX in einer wässrigen Lösung mit einer Konzentration von 0,1 – 0,2% als Mundspüllösung zur Plaquekontrolle angewendet. Die Konzentration zur Anwendung in der Endodontie sollte hingegen 2% betragen (Zamany et al. 2003). Chlorhexidin weist eine sehr gute Biokompatibilität und in Konzentrationen von 2% auch eine gute Gewebeverträglichkeit auf (Wennberg 1980, Siqueira & Uzeda 1997). Es wurden allerdings auch Hautreizungen durch eine 2%ige CHX-Lösung beschrieben (Foulkes 1973). Ebenso wie beim Natriumhypochlorit ist es möglich, eine Chlorhexidinspüllösung mit niedrigerer Konzentration zu erwärmen, um eine lokal auf das Wurzelkanalsystem begrenzte erhöhte Wirksamkeit zu erzielen, gleichzeitig aber eine systemische Wirkung niedrig zu halten (Evanov et al. 2004). Chlorhexidin wirkt in Konzentrationen von ca. 100 ppm bakterizid und weist

auch bei Konzentrationen von lediglich 0,19 ppm noch bakteriostatische Eigenschaften auf (Hennessey 1973).

Chlorhexidin besitzt eine hohe Substantivität, d. h. seine kationischen Gruppen binden elektrostatisch an negativ geladene Oberflächen. Daher überdauert die Wirkung des Chlorhexidins die Spülzeit und steht als Reservoir für eine langsame Abgabe zur Verfügung (White et al. 1997). Höchste Aktivität zeigt sich gegen gram-positive, geringere gegen gram-negative Bakterien. Moderate Aktivität kann bei behüllten Viren beobachtet werden. Säurefeste Stäbchen, unbehüllte Viren und Sporen sind resistent (Davies et al. 1973, Hennessey 1973, Emilson 1977).

Unter alkalischen Bedingungen wirkt CHX besser als in saurem Milieu. Durch die geringere Wirksamkeit gegen gram-negative Bakterien, welche häufig bei primären endodontischen Infektionen zu finden sind, kann es nicht als Standardspüllösung in Betracht gezogen werden (Sundqvist 1994). Im Gegensatz zu NaOCl inhibiert Chlorhexidin keine bakteriellen Lipopolysaccharide und verfügt nicht über gewebeauflösendes Potenzial (Aibel & Stevens 1999).

Trotz dieser Einschränkungen wird Chlorhexidin in der Endodontie verwendet, da es eine sehr gute antibakterielle Effektivität gegen Problemkeime wie *E. faecalis* aufweist, der häufig mit endodontischen Misserfolgen in Verbindung gebracht wird (Portenier et al. 2001). Des Weiteren besitzt CHX eine fungizide Wirkung (Ferguson et al. 2000). In Revisionsfällen, in denen diese Problemkeime vermehrt auftreten, wird daher Chlorhexidin als 2%ige Spüllösung verwendet. Chlorhexidin sollte als zusätzliche Abschlussspülung vor der Wurzelkanalfüllung verwendet werden (Sen et al. 1999).

2.2.1.3 Chelatoren

Chelatbildner, auch Chelatoren und Komplexbildner genannt, sind kleine organische Moleküle, die als mehrzählige Liganden mit ihren zwei oder mehr Bindungsstellen meistens ein zweifach positiv geladenes Metallion komplexieren, wodurch ein oder mehrere Ringe geschlossen werden. Die gebildeten Komplexe sind besonders stabil. Chelatoren sind in der Lage, den anorganischen Anteil der Schmierschicht aufzulösen. Das in der Schmierschicht enthaltene Kalzium und Phosphat wird von den Chelatoren komplexiert und herausgelöst (Hülsmann et al. 2003, Scelza et al. 2003, Scelza et al. 2004, Zehnder et al. 2005, González-López et al. 2006). So ist es auch möglich, sklerosierte Dentinkanälchen zu öffnen. Der organische Anteil der

Schmierschicht kann jedoch nicht durch Chelatoren gelöst werden, deshalb bedarf es einer Kombination mit einer Spüllösung, die hierzu in der Lage ist. Als besonders wirkungsvoll hat sich hier das Natriumhypochlorit erwiesen (Yamada et al. 1983, Brandt et al. 2001).

2.2.1.4 EDTA

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) bildet besonders stabile 1:1-Chelatkomplexe mit Kationen mit einer Ladungszahl von mindestens +2. Das Ethylendiamintetraessigsäure-Anion kann neben den beiden freien Elektronenpaaren des Stickstoffatoms auch vier Carboxylgruppen für eine Komplexverbindung zur Verfügung stellen und sich 6-fach an ein Kation binden. EDTA ist sehr biokompatibel und findet in der Nahrungs- und Kosmetikindustrie zahlreiche Anwendungen (Lanigan & Yamarik 2002). Der am weitesten verbreitete Chelator in der Endodontie ist das EDTA (Çalt & Serper 2002). EDTA wurde als erster Chelator 1957 von Nygaard-Østby in die Endodontie eingeführt (Nygaard-Østby 1957). Es wird in Form von Spüllösungen oder Pasten in engen und kalzifizierten Wurzelkanälen eingesetzt und soll die Präparation des Wurzelkanals erleichtern. Wichtigste Funktion ist die Entfernung der anorganischen Bestandteile der Schmierschicht (Zehnder et al. 2005). So ging man vor einigen Jahren noch davon aus, dass die Anwendung von EDTA-Pasten als Gleitmittel die Gefahr von Instrumentenfrakturen verringert (Hülsmann et al. 2003). Mittlerweile ist man jedoch zu dem Erkenntnis gelangt, dass die Anwendung von Pasten die Friktion der Instrumente im Wurzelkanal noch erhöht und daher Instrumentenfrakturen eher begünstigt als verringert. Daher wird lediglich die Anwendung flüssiger Chelatoren empfohlen (Peters et al. 2005).

2.2.1.5 Zitronensäure

Zitronensäure ist eine farblose, wasserlösliche Carbonsäure mit der Summenformel $C_6H_8O_7$, die zu den Fruchtsäuren zählt. Sie bildet mit mehrwertigen Metallionen meist wasserlösliche Komplexe, worauf der demineralisierende Effekt zurückzuführen ist. Diese Eigenschaft macht man sich in der Endodontie zunutze, um den anorganischen Anteil der Schmierschicht aufzulösen (Baumgartner et al. 1984). Bei der Komplexbildung von Kalziumionen besteht kein Unterschied zwischen 10%iger und 20%iger Zitronensäure (González-López et al. 2006).

Bei der Entfernung des „smear layer“ mit Zitronensäure kann eine etwas bessere Effektivität gegenüber der Anwendung von EDTA festgestellt werden (De-Deus et al. 2008). Ebenso wie EDTA hat Zitronensäure keinerlei antiseptische Wirkung und Versuche, durch die Beimischung von Tetracyclin eine antibakterielle Wirkung zu erzielen, haben sich als klinisch nicht erfolgreich herausgestellt (Torabinejad et al. 2003).

2.3 Medikamentöse Einlagefüllungen

Obwohl durch die mechanische sowie chemische Aufbereitung eine relativ hohe Zahl von Bakterien entfernt wird, erreicht keine derzeit angewandte desinfizierende Spüllösung absolute Keimfreiheit im Wurzelkanalsystem (Law & Messer 2004, Hülsmann et al. 2005). Diese unvollständige Entfernung der Keime wirkt sich negativ auf die Langzeitprognose der behandelten Zähne aus. Die verbliebenen Bakterien können sich ohne dichten Verschluss der Wurzelkanäle weiter vermehren und nahezu ihre ursprüngliche Anzahl erreichen (Byström & Sundqvist 1981, 1985). Um eine möglichst gründliche Desinfektion zu erreichen, ist es ratsam, zwischen mehreren Behandlungssitzungen zusätzlich eine medikamentöse Einlage in den Wurzelkanal einzubringen.

Die Ziele medikamentöser Einlagefüllungen sind:

1. Elimination lebender Bakterien, die während der chemischen und mechanischen Reinigung nicht zerstört wurden
2. Reduktion der periapikalen Entzündungsprozesse und der daraus resultierenden Schmerzen
3. Verhindern oder Aufhalten entzündlicher Wurzelresorption
4. Verhinderung einer Reinfektion des endodontischen Systems durch Bildung einer chemischen und physikalischen Barriere, falls die temporäre Deckfüllung Undichtigkeiten aufweist (Byström et al. 1985).

Die Gruppeneinteilung der Medikamente erfolgt entsprechend ihrer chemischen Basis wie folgt:

- Antibiotika
- Nicht-phenolhaltige Biozide
- Phenolhaltige Biozide
- Kalziumhydroxid.

2.3.1 Antibiotika

Die zu dieser Gruppe gehörenden Präparate enthalten neben einem oder mehreren Antibiotika auch teilweise entzündungshemmende Substanzen wie Kortikosteroide (Barthel-Zimmer 2001). Durch die entzündungshemmende Kortikosteroid-Komponente wird eine Schmerzlinderung durch verminderte Freisetzung von Schmerzmediatoren erreicht, wodurch allerdings auch die Abwehrfähigkeit des Immunsystems reduziert wird. Um einer Vermehrung der Keime vorzubeugen, wird daher zusätzlich eine antimikrobiell wirksame Komponente benötigt.

Während in einigen Studien festgestellt wurde, dass die Anwendung entzündungshemmender und schmerzlindernder Kortikoidpräparate in Verbindung mit Antibiotika insbesondere bei akuten Beschwerden hilfreich sein kann (Hargreaves & Abbott 2005), stuften andere ihr Wirkungsspektrum weit geringer als das der Biozide ein (McDonnell & Russel 1999).

Schon in den Jahren 1954 und 1956 wurden erste Therapieversuche mit Kortikosteroiden unternommen (Barthel-Zimmer 2001).

2.3.1.1 Ledermix

Ledermix (Riemser Arzneimittel, Greifswald), heute eine der in der klinischen Anwendung am weitesten verbreiteten Antibiotikapasten, wurde 1960 von Triadan und Schröder entwickelt und ab 1962 von Lederle Pharmaceuticals vertrieben (Ehrmann 1965). Im Laufe der Jahre wurde die Zusammensetzung mehrfach verändert. Heute enthält Ledermix als Antibiotikum das Tetracyclin Demeclocyclin (3,2%) und das Kortikosteroid Triamcinolonacetonid in einer Polyethylen-Glycol-Basis (1%) (Fachinformation Ledermix Paste).

Die in dieser Zusammensetzung erreichte Konzentration des Antibiotikums ist hoch genug, um gegen die meisten im Wurzelkanal vorkommenden Bakterienspezies zu wirken (Athanasiadis et al. 2007). Durch die Diffusion der Wirkstoffe, hauptsächlich über die Dentintubuli in Richtung Wurzelzement und Periapex (Abbott et al. 1988), schwächt sich die Wirkung des Medikaments jedoch nach ca. einer Woche auf 10% des Ausgangswertes ab. Das Breitbandantibiotikum Tetracyclin wirkt bakteriostatisch auf gram-positive, gram-negative und zahlreiche zellwandlose Bakterien, wobei Hefen resistent sind (Abbott et al. 1988). Die Bakterienteilung wird verhindert und es werden keine Lipopolysaccharide frei, welche eventuell die Exazerbation einer Entzündung fördern können (Torabinejad et al. 2003, Jacinto et al. 2005). Durch das in Ledermix enthaltene Glukokortikoid werden die periapikalen Entzündungsreaktionen verringert und die daraus resultierenden Schmerzen gelindert (Pierce & Lindskog 1987).

2.3.1.2 Pulpomixine

Pulpomixine (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Cedex, Frankreich) ist ebenso wie Ledermix ein Kombinationspräparat aus Breitbandantibiotika und einem künstlichen Glukokortikoid. Bei den Antibiotika handelt es sich um Neomycin, ein Breitbandantibiotikum aus der Gruppe der Aminoglycoside und Polymyxine B, ein Breitbandantibiotikum aus der Gruppe der Polypeptid-Antibiotika, welches vor allem gegen gram-negative Bakterien wirksam ist. Ein weiterer wirksamer Bestandteil ist neben diesen Antibiotika das künstliche Glukokortikoid Dexamethason, welches antiinflammatorisch und immunsuppressiv wirkt. Es gehört zu den lang wirkenden Glukokortikoiden, wirkt rund 30-mal stärker als die körpereigenen Produkte und besitzt keine relevante mineralkortikoide Wirkung.

2.3.2 Nicht-phenolische Biozide

Nicht-phenolische Biozide besitzen ein breites Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten, die von der Mundspülung bis zur Wasseraufbereitung reichen (Safavi & Spångberg 2006). Zu den nicht-phenolischen Bioziden gehören verschiedene Arten von Chemikalien, die in der Lage sind, Mikroorganismen abzutöten (z. B. Alkohole, Aldehyde, Biguanide). Aufgrund einer fehlenden Spezifität

ist das Risiko einer Resistenzentwicklung, wie es von Antibiotika bekannt ist, eher gering (Sreenivasan & Gaffar 2002).

2.3.2.1 Chlorhexidindigluconat

Chlorhexidindigluconat als Vertreter der nicht-phenolischen Biozide wurde bereits ausführlich bei den Spüllösungen (S.11) beschrieben. CHX-Moleküle sind stark basisch, positiv geladen, hydrophob und lipophil und können aufgrund dieser Eigenschaften die Membran von Bakterienzellen überwinden (Dynes et al. 2006). Die positiv geladenen Gruppen binden elektrostatisch an negativ geladene Oberflächen, wie z. B. auch die negativ geladenen Zellwände vieler Bakterien. Hieraus resultiert eine Steigerung der Permeabilität der Zellmembran (Hugo & Longworth 1966). Die Chlorhexidinmoleküle gelangen so in das Innere der Zelle, wo sie zytotoxisch wirken (Safavi & Spångberg 2006). Saure Bedingungen hingegen führen zu einer Hemmung der Ionisierung der Bakterienzellmembran, wodurch sich auch die antimikrobielle Wirkung des CHX reduziert (Safavi & Spångberg 2006). Die Anwendung von Chlorhexidin als medikamentöse Einlage für mindestens sieben Tage ist effektiver als die alleinige Verwendung als Spüllösung (Komorowski et al. 2000, Lin et al. 2003). Bei der medikamentösen Einlage wird das CHX in Gelform in den Wurzelkanal eingebracht. Durch den ständigen Kontakt mit dem Wurzelkollagen wird eine ausreichende Sättigung des Dentins erreicht (Lin et al. 2003). Im Gegensatz zu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ist CHX auch gegen Hefen und *E. faecalis* überaus wirkungsvoll, welche gehäuft bei Fällen endodontischen Misserfolgs auftreten (Hülsmann 2006, Waltimo 2006). Chlorhexidin ist sowohl gegen gram-positive als auch gram-negative Bakterien wirksam, wobei die gram-positiven Bakterien sensibler auf CHX reagieren (Emilsson 1977). Aufgrund dessen wird CHX als alleinige medikamentöse Einlage nicht empfohlen, da endodontische Infektionen von einer polymikrobiellen Besiedlung geprägt sind (Sundqvist 1994). Mehrere Autoren schlagen die Kombination von CHX mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vor, um die Effekte der beiden Agenzien zu kombinieren. Sie konnten zeigen, dass eine Mischung aus $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und CHX besser gegen *E. faecalis* und *C. albicans* wirkt als eine Mischung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mit inerte Lösung (Evans et al. 2003, Lin et al. 2003, Zehnder et al. 2003). Die durch Kalziumhydroxid hervorgerufene Erhöhung des pH-Wertes verringert jedoch die Wirksamkeit von Chlorhexidin, welches in neutralem Milieu am effektivsten wirkt (Safavi & Spångberg 2006).

2.3.3 Phenolische Biozide

Zu dieser Gruppe gehören Phenole und Kresole. Die Toxizität dieser Stoffe ist zwar geringer als die von Formaldehyd, steht jedoch in keinem Verhältnis zu ihrer Effektivität (Zehnder et al. 2003). Laut Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanalspülung „sind Spülungen mit phenol- und formaldehydhaltigen Substanzen nicht indiziert“ (DGZMK 2006). Sie müssen als unspezifisch toxisch bezeichnet werden, d. h. sie sind auch für gesundes körpereigenes Gewebe toxisch (Spångberg et al. 1973).

2.4 Kalziumhydroxid

2.4.1 Historie

Das heute am weitesten verbreitete intrakanaläre Medikament ist das Kalziumhydroxid (Lee et al. 2009). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wurde bereits 1920 von Herrmann im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung eingesetzt (Herrmann 1920). Kalziumhydroxid ist aber nicht nur in der Endodontie, sondern auch in der Zahnerhaltung ein häufig verwendetes Medikament. Zwischen 1934 und 1941 erschienen die ersten Artikel über eine erfolgreiche Vitalerhaltung der Pulpa mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Der Anwendungsbereich für $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Präparate ist vielfältig und sie werden nicht nur zur Desinfektion im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung eingesetzt sondern u. a. auch:

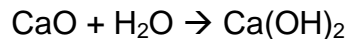
- zur direkten Überkappung oder bei der Amputation der exponierten Pulpa (Attin & Hellwig 1993)
- nach Perforationen des Wurzelkanals (Biggs et al. 1988)
- zur Apexifikation der Wurzelspitze nach Trauma (Cvek & Sundström 1974).

2.4.2 Chemie

Beim Erhitzen von Kalkstein auf eine Temperatur von 900-1200°C entstehen Kalziumoxid (CaO) und Kohlendioxid (CO_2):



Der dabei entstehende „ungelöschte Kalk“ ist stark ätzend. Beim Vermischen von ungelöschtem Kalk mit Wasser entsteht Kalziumhydroxid:



Kalziumhydroxid ist ein weißes, geruchloses Pulver mit der Summenformel Ca(OH)_2 . Die Löslichkeit in Wasser ist gering, das Molekulargewicht beträgt 74,08 (Ardehna et al. 2002). Ca(OH)_2 hat in seiner Eigenschaft als starke Base einen pH-Wert zwischen 12,5 und 12,8 (Löst et al. 1992, Fava & Saunders 1999) und dadurch eine stark antibakterielle Wirkung. Die antibakterielle und Hartgewebe induzierende Wirkung des Kalziumhydroxids beruht hauptsächlich auf der Freisetzung der Ca^{2+} -Ionen und der OH^- -Ionen (Estrela et al. 1995). Daher ist es wichtig, dass die Freisetzung der Ionen nicht durch andere chemische Reaktionen verhindert wird. So entsteht beim Kontakt mit Kohlendioxid (CO_2) oder Kohlenstofftrioxid (CO_3) Kalziumkarbonat. Durch diese Reaktion werden alle freien Ca^{2+} -Ionen verbraucht und stehen nicht mehr zur Verfügung (Holland et al. 1979). Kalziumkarbonat ist besser bekannt unter der deutschen Trivialbezeichnung „kohlensaurer Kalk“ und hat keinerlei biologische oder antimikrobielle Wirkung (Estrela et al. 1995).

Die schlechte Löslichkeit von Kalziumhydroxid ist für den klinischen Einsatz als temporäres Wurzelkanalfüllmaterial von Vorteil, da es erst nach einer langen Liegezeit durch Gewebsflüssigkeit aufgelöst und abtransportiert wird (Fava & Saunders 1999). Wenn man das Kalziumhydroxidpulver mit einer geeigneten Trägersubstanz mischt, so erhält man eine Paste (Ardehna et al. 2002). Leonardo et al. (1993) empfehlen den Zusatz von anderen Stoffen als Wasser, um die Konsistenz, die Fließfähigkeit, den pH-Wert und die Röntgensichtbarkeit zu verbessern.

Als Trägersubstanzen haben sich folgende Stoffe etabliert:

1. wässrige Stoffe
2. hochvisköse Stoffe
3. ölige Stoffe (Fava & Saunders 1999).

Wässrige Trägersubstanzen werden hauptsächlich benutzt, um eine schnelle Freisetzung der OH^- -Ionen zu erreichen. Visköse Stoffe werden verwendet, wenn eine langsamere und gleichmäßigere Freisetzung erwünscht ist. Ölige Stoffe sind in der Anwendung eher limitiert (Ardehna et al. 2002).

Da die OH^- -Ionen des Kalziumhydroxids nur sehr langsam in Lösung gehen, hat

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ auch in wässriger Lösung einen Depoteffekt. Das etwa nach zwei Wochen erreichte Maximum der Ionenfreisetzung hält über mehrere Monate an (Nerwich et al. 1993).

2.4.3 Wirkung

Die Wirkung des Kalziumhydroxids beruht hauptsächlich auf der Freisetzung und Diffusion der Ca^{2+} -Ionen und der OH^- -Ionen. Dies führt dazu, dass der pH-Wert sowohl im Wurzelkanal als auch im umgebenden Dentin stark ansteigt und die meisten Mikroorganismen ein solch stark alkalisches Milieu nicht tolerieren (Athassiadis et al. 2007). Der pH-Wert wird bereits nach einer Woche Liegedauer im inneren Dentin auf 9 angehoben (Siqueira & Lopes 2002). Der Anstieg des pH-Wertes findet nur langsam statt, da die Diffusion der Hydroxyl-Ionen durch die Pufferkapazität des Dentins gebremst wird (Rehman et al. 1996, Siqueira & Lopes 2002, Tang et al. 2004).

Durch die im Hydroxylapatit des Dentins vorkommenden Protonenlieferanten H_2PO_4^- , H_2CO_3 und HCO_3^- besitzt dieses eine Pufferkapazität, die einen Anstieg des pH-Wertes stark verlangsamen bzw. verhindern kann (Wang & Hume 1988, Nerwich et al. 1993). Aus diesem Grund wird vermutlich eine längere Liegedauer des Kalziumhydroxids von mindestens einer Woche benötigt, um einen antimikrobiell wirksamen pH-Anstieg in allen Wurzelabschnitten zu erzielen (Barthel-Zimmer 2001). Die Anhebung des pH-Wertes kann verschiedene Effekte hervorrufen. Hierzu gehören:

- eine Schädigung der zytoplasmatischen Membran (Halliwell 1987)
- Denaturierung struktureller Proteine und Enzyme (Voet & Voet 1995)
- Verhinderung der DNA-Spaltung und Replikation (Halliwell 1987, Imlay & Linn 1988).

Neben der chemischen Wirkung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wirkt Kalziumhydroxid auch noch auf physikalischem Wege durch:

- Auffüllen des Wurzelkanals und Vermeidung eines erneuten Bakterienzutritts
- Entzug von Substrat für Wachstum und Vermehrung eventuell verbliebener Bakterien (Siqueira & de Uzeda 1997).

Weitere Autoren beschreiben zudem die Neutralisierung bakterieller Endotoxine durch Kalziumhydroxid *in vitro* (Safavi & Nichols 1993, Barthel et al. 1997) *und in vivo* (Nelson-Filho et al. 2002, Tanomaru et al. 2003). Hierbei handelt es sich um Lipopolysaccharide (LPS), wie sie bei der Vermehrung und beim Absterben von Bakterien frei werden (Barthel et al. 1997), die zu Entzündungsreaktionen und periapikaler Knochenresorption führen können (Safavi & Nichols 1993). Die bakteriellen LPS werden dabei durch das Abspalten der Fettsäuren zerstört (Safavi & Nichols 1993). Klinische Symptome wie Schmerz und Perkussionsempfindlichkeit korrelieren mit der Anwesenheit von Lipopolysacchariden (Jacinto et al. 2005, Martinho & Gomes 2008).

Die gewebeauflösende Wirkung ist eine weitere Eigenschaft von Kalziumhydroxid. Ebenso wie NaOCl ist es in der Lage, nekrotisches Gewebe aufzulösen (Andersen et al. 1992, Yang et al. 1995). Behandelt man nekrotisches Gewebe mit Kalziumhydroxid, führt dies zu einer verbesserten Löslichkeit in NaOCl, was durch Türkün & Cengiz (1997) nachgewiesen wurde. Somit ist die Kombination von NaOCl als Spüllösung und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ als vorherige medikamentöse Einlagefüllung hinsichtlich der Gewebe auflösenden Wirkung von Vorteil (Hasselgren et al. 1988). Eine weitere wichtige Eigenschaft des Kalziumhydroxids ist die Induktion einer Hartgewebsbildung, welche in erster Linie auf die antibakterielle Wirkung zurückzuführen ist. Diese macht man sich bei verschiedenen klinischen Therapiemaßnahmen wie der Vitalerhaltung der Pulpa und der Behandlung der apikalen Parodontitis zunutze (Schröder 1985, Fava & Saunders 1999, Weiger 2001, Carrotte 2004, Athanassiadis et al. 2007, Fernandes et al. 2008).

Siqueira & Lopes (2002) geben zu bedenken, dass eine Wirkung von Kalziumhydroxid nur bei direktem Kontakt mit Bakterien gewährleistet ist. Somit sind Bakterien in der Lage, in nicht erreichbaren, anatomischen Strukturen wie z. B. den Dentinkanälchen oder Ramifikationen zu überleben. Auch die Pufferkapazität des Hydroxylapatits verhindert einen schnellen Anstieg des pH-Wertes, was Kalziumhydroxid zu einem nur langsam wirkenden Antiseptikum macht (Siqueira & Lopes 2002). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ fördert die Bakterienanhaftung an Kollagen und erhöht damit die Besiedlung der Dentintubuli. Da diese nur schwer zu reinigen und zu desinfizieren sind, könnten hier weitere Resistenzen entstehen (Kayaoglu et al. 2005). Zudem gibt es einige Bakterien und Pilze, die Resistenzen gegenüber Kalziumhydroxid aufweisen (Siqueira & Lopes 2002, Waltimo 2006, Sathorn et al.

2007). Keime wie *E. faecalis* zeigen eine Resistenz gegenüber Ca(OH)_2 (Byström und Sundqvist 1985, Haapasalo & Ørstavik 1987). Es wird angenommen, dass der Einsatz von Ca(OH)_2 durch seine Wirkungslosigkeit gegen *E. faecalis* die Verbreitung dieses Problemkeims sogar gefördert hat (Stevens & Grossman 1983, Helling et al. 1992, Kwon et al. 2004, De Souza et al. 2005,). Es konnte in einer Studie gezeigt werden, dass eine gesättigte Ca(OH)_2 -Lösung nicht in der Lage war, *E. faecalis* in der Gegenwart von Dentin, Hydroxylapatit und Albumin aus dem Serum eines Rindes abzutöten (Portenier et al. 2001). Weiterhin reduziert der alkalische pH-Wert des Kalziumhydroxids die Aktivität der Dentinoklasten, welche ein saures Milieu für ihre osteoklastischen und dentinoklastischen Aktivitäten benötigen (Skaljac-Staudt et al. 1983). Aufgrund dieser Erkenntnisse sind sowohl die antimikrobielle Wirkung in vivo als auch die Effektivität der mehrzeitigen endodontischen Behandlung mit einer Ca(OH)_2 -Einlage umstritten. Sathorn et al. (2007) stellten in einer Studie über Kalziumhydroxid fest, dass dieses nur einen geringen Einfluss auf die Mikroflora aufweist. Zusätzlich hat Ca(OH)_2 keinen Effekt auf *C. albicans*. Es wirkt zwar gegen die meisten endodontisch relevanten Mikroorganismen, eine völlige Keimfreiheit wird allerdings nicht erreicht (Waltimo et al. 1999). Das gesamte Spektrum aller pathogenen Bakterien kann auch durch Ca(OH)_2 nicht abgedeckt werden (Alberto et al. 2005). Law & Messer (2004) bestätigen, dass die antibakterielle Hauptwirkung der endodontischen Behandlung auf die Spülung zurückzuführen ist, bezeichnen Ca(OH)_2 jedoch als das beste momentan verfügbare Medikament für medikamentöse Einlagefüllungen. Bei der Verwendung von Ca(OH)_2 steigt die Anzahl der bakteriellen CFU („colony forming units“) zwar leicht an (0,93%), was jedoch in jedem Fall eine Verlangsamung der Neubesiedelung im Vergleich zum ungefüllten Kanalsystem darstellt (Peters LB et al. 2002). Barthel et al. (2006) kommen zu einem vergleichbaren Ergebnis: Kalziumhydroxid kann das bakterielle „leakage“ bei wurzelbehandelten und mit Cavit (3M ESPE, Seefeld) verschlossenen Zähnen im Durchschnitt um 35 Tage aufhalten und schnitt im Vergleich zu anderen medikamentösen Einlagefüllungen am besten ab. In anderen Versuchen konnte Ca(OH)_2 die getesteten gram-negativen Keime verlässlich beseitigen, während die Wirkung auf gram-positive Keime wie *P. micros* und *S. intermedius* nur langsam vonstattenging und sich *E. faecalis* resistent zeigte (Podbielski et al. 2003). In einigen Studien wurde die Vermutung geäußert, dass es durch Ca(OH)_2 -Anwendung zu einer Selektion besonders pathogener Keime komme. Diese bestätigte sich nicht, da

auch in unbehandelten therapieresistenten Kanälen vermehrt fakultativ anaerobe Keime zu finden sind (Hancock et al. 2001). Aufgrund der antimikrobiellen Wirkung kann Kalziumhydroxid die Reinfektion des behandelten Wurzelkanalsystems zumindest behindern. Die Anforderungen der DGZMK (2006) und der Qualitätsrichtlinien der „European Society of Endodontology“ (ESE 2006) sind somit erfüllt. Die medikamentöse Einlagefüllung mit Kalziumhydroxid zählt zur aktuellen aseptischen und antiseptischen Behandlungsstrategie (Hülsmann 2006). Es muss jedoch das Ziel der weiterführenden Forschung sein, ein noch wirksameres Mittel für die medikamentöse Einlagefüllung zu entwickeln. Kalziumhydroxid resistente Bakterien kommen vor allem bei der Revision gescheiterter Wurzelkanalbehandlungen vor (Heppeler & Hülsmann 2006). In verschiedenen bisher durchgeführten Studien wurde die Anmischung von Ca(OH)_2 mit Natriumhypochlorit oder Chlorhexidin empfohlen, um es auch gegen gram-positive Bakterien und die widerstandsfähigeren Keime wie *E. faecalis* oder Hefen wirksamer zu machen (Waltimo et al. 1999, Podbielski et al. 2003, Zehnder et al. 2003). Ein positiver Effekt dieser Vermischung konnte zwar nicht belegt werden, allerdings wurden die Eigenschaften von Ca(OH)_2 nicht beeinträchtigt (Haenni et al. 2003). Als Wechselwirkung einer solchen Anmischung kann das Kalziumhydroxid durch den erhöhten pH-Wert die Effektivität des Chlorhexidins, welches bei neutralem pH-Wert die beste Wirksamkeit aufweist, jedoch reduzieren (Safavi & Spångberg 2006).

2.4.4 Anwendung

Zur Applikation in den präparierten Wurzelkanal wird Kalziumhydroxid nicht in Pulverform verwendet, sondern mit verschiedenen Trägersubstanzen vermischt. Die einfachste Methode der Herstellung einer Kalziumhydroxidpaste, besteht in der Vermischung des Ca(OH)_2 -Pulvers mit Wasser bis zum Erreichen der gewünschten Konsistenz. Allerdings gaben Leonardo et al. (1993) zu bedenken, dass diese einfache Paste nicht den Anforderungen entspricht, da sie weder röntgenopak ist noch die gewünschten physiko-chemischen Eigenschaften erhält. Fava & Saunders (1999) beschrieben in einer Übersichtsarbeit Kombinationen mit unterschiedlichen Trägermedien und zusätzlichen Substanzen, um vor allem die antibakteriellen Eigenschaften des Kalziumhydroxids zu modifizieren. Wie bereits erwähnt, ist die Dissoziation der Ca^{2+} - und der OH^- -Ionen entscheidend für den Wirkmechanismus des Ca(OH)_2 . Dabei spielt die Trägersubstanz die entscheidende Rolle, da sie die

Geschwindigkeit der Dissoziation beeinflusst und so die Löslichkeit und Resorption der Paste steuert. Die ideale Trägersubstanz sollte folgende Eigenschaften erfüllen:

- eine allmähliche und langsame Freisetzung der Ionen erlauben
- eine langsame Diffusion bei geringer Löslichkeit ermöglichen
- keinen hinderlichen Effekt bei der Hartgewebebildung verursachen

(Fava & Saunders 1999).

Heutzutage gibt es eine Vielzahl fertig angemischter Kalziumhydroxidpasten wie z. B. Hypocal (Merz Dental GmbH, Lütjenburg), Calxyl (OCO Präparate GmbH, Dirmstein/Pfalz) oder UltraCal (Ultradent Products, Inc., South Jordan, Utah, USA). Es werden verschiedene Darreichungsformen von Ca(OH)_2 zur Verwendung als medikamentöse Einlage für direkte und indirekte Überkappung (Accorinte et al. 2008), bei der Pulpotomie, bei horizontalen Wurzelfrakturen im mittleren und apikalen Wurzeldrittel, nach iatrogener Perforation sowie zur Prävention und Behandlung interner und externer Wurzelresorptionen beschrieben (Carrotte 2004).

2.4.5 Techniken zum Einbringen von Kalziumhydroxid in den Wurzelkanal

Wenn eine Wurzelkanalbehandlung in mehreren Sitzungen durchgeführt werden muss, ist es notwendig eine temporäre medikamentöse Einlage in den Kanal einzubringen (ESE 2006). Da trotz sorgfältiger mechanischer und chemischer Aufbereitung immer noch Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem vorhanden sind, müssen ein weiteres Wachstum sowie die Vermehrung dieser Bakterien verhindert werden. Beließe man das Wurzelkanalsystem ohne weitere Füllung, so würden sich die verbliebenen Bakterien wieder vermehren und nahezu den Ausgangszustand der initialen bakteriellen Kontamination erreichen (Byström & Sundqvist 1985). Daher sollten temporäre Wurzelkanaleinlagen eine lang anhaltende desinfizierende Wirkung besitzen, biokompatibel, leicht applizierbar und entfernbar sein, sowie keinen negativen Einfluss auf die Zahnhartsubstanzen und das (temporäre) Restaurationsmaterial ausüben (ESE 2006). Des Weiteren sollte das Material in der Lage sein, durch dichtes Verschließen und Obturieren von Hohlräumen eine Reinfektion durch Eindringen von Gewebeflüssigkeit oder das Einwachsen von Granulationsgewebe in das Endodont zu verhindern (Klaiber & Bergenholtz 1987). Gleichzeitig soll aber eine Extrusion des Medikaments über das apikale Foramen

hinaus vermieden werden. Bei Überpressen größerer Mengen Ca(OH)_2 entwickeln sich an der Kontaktfläche zum vitalen Gewebe lokale Nekrosen. In der Folge treten häufig Schmerzen und Schwellungen auf, die den Erfolg der Behandlung jedoch nicht beeinträchtigen (De Moor & De Witte 2002). Weit gefürchteter allerdings sind Komplikationen, bei denen Kalziumhydroxid mit sensiblen Strukturen wie dem *Nervus alveolaris inferior* oder dem *Nervus mentalis* in Kontakt kommt und hierdurch Parästhesien verursachen kann. Ahlgren et al. (2003) beschrieben einen Fall, in dem eine Patientin nach endodontischer Behandlung an zwei unteren Prämolaren über starke Schmerzen, Schwellungen und Parästhesien im vorderen Bereich des Unterkiefers klagte. In diesem Fall wurde eine größere Menge Ca(OH)_2 über den Apex hinaus gepresst und gelangte nur in die Nähe des *Nervus mentalis*, nicht aber in direkten Kontakt mit dieser sensiblen Struktur.

Die Folgen einer solchen Überpressung von Kalziumhydroxid in das periapikale Gewebe können teilweise ein dramatisches Ausmaß annehmen. Sharma et al. (2008) beschrieben eine Reihe klinischer Fälle, in denen in den Wurzelkanal eingebrachtes Kalziumhydroxid versehentlich intraarteriell injiziert wurde. Neben starken Schmerzen, Krämpfen und Parästhesien entwickelten sich nach einigen Tagen Ulzerationen und Nekrosen sowie chronische Schmerzen. Aufgrund des hohen pH-Wertes des Kalziumhydroxids werden beim Kontakt mit Blut Kristalle ausgefällt. Daher kann Ca(OH)_2 nicht als vollständig biokompatibles Material erachtet werden (Sharma et al. 2008). Die Autoren vermuteten, dass nicht der Verschluss der Arterie zu den Ischämien führte, sondern dass das Kalziumhydroxid im arteriellen Blut ins Kapillarbett gelangte und dort eine zytotoxische Wirkung entwickelte. Lindgren et al. (2002) berichteten über einen klinischen Fall, in dem Kalziumhydroxid über den Wurzelkanal eines Unterkiefermolaren versehentlich intraarteriell injiziert wurde und die Nekrose eines Ohrläppchens sowie die Nekrose der oberflächlichen Haut am Kinn zur Folge hatte.

Ahlgren et al. (2003) beschrieben einen Patientenfall, in dem Ca(OH)_2 in den Alveolarknochen überpresst wurde und in unmittelbarer Nähe zum *N. alveolaris inf.* Parästhesien auslöste, welche sich jedoch nach chirurgischer Entfernung des extrudierten Materials als reversibel erwiesen. Andere Autoren zeigten allerdings, dass die apikale Extrusion von Kalziumhydroxid keine oder aber nur geringe Probleme verursachte, solange der Kontakt mit Weichgewebe vermieden wurde (Foreman & Barnes 1990, Maalouf & Gutmann 1994, De Bruyne et al. 2000).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Applikation von Ca(OH)_2 in Wurzelkanäle vorsichtig erfolgen sollte, um ein Überpressen in die periapikalen Gewebe zu vermeiden.

Zur Applikation von Kalziumhydroxid gibt es mehrere häufig verwendete Instrumente und Methoden. Neben verschiedenen Pistolensystemen, speziellen Stopfinstrumenten (Plugger), endodontischen Instrumenten oder Papierspitzen werden auch häufig spezielle Förderspiralen wie Lentulo (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) oder Pastinject (MicroMega, Besançon, Frankreich) benutzt. Eine weitere Form der Applikation ist die Injektion mit Hilfe einer Spritze (Staehele et al. 1997, Torres et al. 2004). Weitere Applikationsmethoden wurden von Deveaux et al. (2000) beschrieben. Sie applizierten eine Kalziumhydroxideinlage mit einer endodontischen Feile, die in ein Ultraschallgerät (Piezon Master 400, EMS, Morangis, Frankreich) eingespannt war. Außerdem untersuchten sie die Applikation mittels einer MecaShaper-Feile (MicroMega, Besançon, Frankreich), welche durch ein Schallvibrationsgerät (MecaSonic MM 1400, MicroMega, Besançon, Frankreich) aktiviert wurde.

2.4.5.1 Injektion

Einige Autoren begrenzen die Nutzung eines Spritzensystems zur Kalziumhydroxidapplikation auf extrem weite und gerade Wurzelkanäle, also zum Beispiel bei jugendlichen Zähnen mit dem Ziel der Apexifikation. Der Großteil der auf dem Markt angebotenen Kalziumhydroxidpräparate ist mit Kanülen mit einem großen Außendurchmesser versehen, wie z. B. das in Deutschland sehr verbreitete Hypocal (Merz Dental GmbH, Lütjenburg) mit einem Außendurchmesser von 0,9 mm. Großkalibrige Kanülen sind notwendig, um eine homogene Kalziumhydroxidfüllung in weiten Kanälen zu erzielen (Staehele et al. 1997). Um die richtige Positionierung im Wurzelkanal zu erreichen, sollte ein auf Arbeitslänge markierter Silikonstopper an der Kanüle angebracht sein. In der Literatur wird empfohlen, dass die Kanüle bis 2 mm vor Erreichen der Arbeitslänge vorgeschoben wird, um sowohl eine homogene Füllung zu erreichen, als auch ein Überpressen des Füllungsmaterials über den Apex hinaus zu vermeiden (Krell & Madison 1985). Wenn die Kanüle nicht weit genug vorgeschoben werden kann, erhöht sich das Risiko von Füllungsdefiziten. Bei zu engem Wandkontakt kann die Paste gar nicht oder nur mit Schwierigkeiten aus der Spritze gepresst werden oder aber es wird ein zu hoher Druck angewendet, so dass

die Gefahr der Extrusion von Ca(OH)_2 stark ansteigt. Die Verwendung von Spritzensystemen für Kalziumhydroxidpasten auf Wasserbasis hat sich in klinischen Situationen als leichter in der Anwendung erwiesen als andere Methoden wie z. B. die Verwendung von Förderspiralen (Staehele et al. 1993). Einerseits beschrieben Dumsha & Gutmann (1985), dass bei Verwendung eines Spritzensystems häufiger ungefüllte Kanalbereiche zu beobachten sind. Andererseits kamen Staehele et al. (1997) zu dem Ergebnis, dass bis zu einer Größe von ISO 50 präparierte Wurzelkanäle sehr homogen mit Hilfe eines Spritzensystems gefüllt werden konnten. Die Autoren wiesen darauf hin, dass diese Ergebnisse nur erreicht wurden, da es sich bei den verwendeten Wurzelkanälen lediglich um gerade oder minimal gekrümmte Kanäle handelte. Eine großkalibrige Kanüle kann nicht so stark vorgebogen werden, so dass mit dieser Technik auch gekrümmte Wurzelkanäle nicht gefüllt werden können. Diese Ergebnisse unterstützen die Resultate von Sigurdsson et al. (1992). In dieser Studie wurde die Applikation von Ca(OH)_2 mittels Lentulo, Injektionskanüle und K-Feile miteinander verglichen. Mit dem Lentulo wurden die besten Ergebnisse erreicht und alle Wurzelkanäle wurden bis auf eine Ausnahme bis zum apikalen Foramen gefüllt. Mit Hilfe der Injektionstechnik konnte lediglich die Hälfte der Wurzelkanäle zufriedenstellend obturiert werden. Als limitierend für die Applikation per Spritze erachteten die Autoren die Wurzelkanalkrümmung und den Präparationsdurchmesser. Die Applikation mit Hilfe der Injektionstechnik wurde von Braun & Nolden (1999) als die überlegene Methode bewertet. Zusätzlich fanden sie heraus, dass das Nachkondensieren mit einem Wattepellet zusätzlich die Eindringtiefe und Homogenität einer Ca(OH)_2 Einlage verbessern kann.

2.4.5.2 Einrotieren mit Wurzelkanalinstrumenten

Eine weitere Methode zur Applikation von Kalziumhydroxidpasten stellt das Einrotieren mit Hilfe von Wurzelkanalinstrumenten wie K-Feilen, Reamern oder Hedström-Feilen dar. K-Feilen (Abb. 1) entstehen durch Verwinden eines viereckigen Stahlrohrlings, Reamer (Abb. 2) durch das Verwinden eines dreieckigen Stahlrohrlings. Hedström-Feilen (Abb. 3) werden aus einem runden Stahlrohrling gefräst.



Abb. 1: K-Feile mit eingezeichnetem Schneidekantenwinkel. Dieser beträgt etwa 25-40° (aus Hellwig et al. 2007, S. 314)



Abb. 2: Reamer mit eingezeichnetem Schneidekantenwinkel. Dieser beträgt etwa 10-30° (aus Hellwig et al. 2007, S. 314)

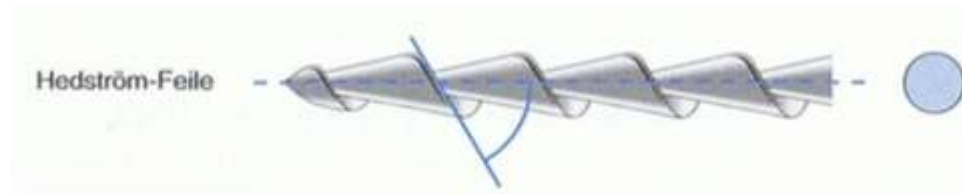


Abb. 3: Hedström-Feile mit eingezeichnetem Schneidekantenwinkel. Dieser beträgt etwa 60-65° (aus Hellwig et al. 2007, S. 314)

Hauptsächlich unterscheiden sich Reamer und K-Feilen durch die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit und dadurch auch durch den Schneidekantenwinkel. Die Reamer besitzen mit einer halben bis einer ganzen Verwindung pro Millimeter weniger Windungen pro Längeneinheit als die K-Feilen. Instrumente mit einem geringen Durchmesser haben mehr Windungen als solche mit großem Durchmesser. Je nach Stärke des Instruments weisen Reamer 8-16 und K-Feilen 24-36 Schneiden auf. Bei Hedström-Feilen beträgt die Anzahl der spiralförmig umlaufenden Schneiden 1-3. Diese laufen über 14-31 Windungen und ist bei kleineren Instrumentengrößen höher als bei größeren. Der Schneidekantenwinkel beträgt bei Reamern 10-30°, bei K-Feilen 25-40°. Für Hedström-Feilen beträgt der Schneidekantenwinkel 60-65°. Charakteristisch sind für jedes Instrument Querschnitt, Spanraum und Kern (Abb. 4).

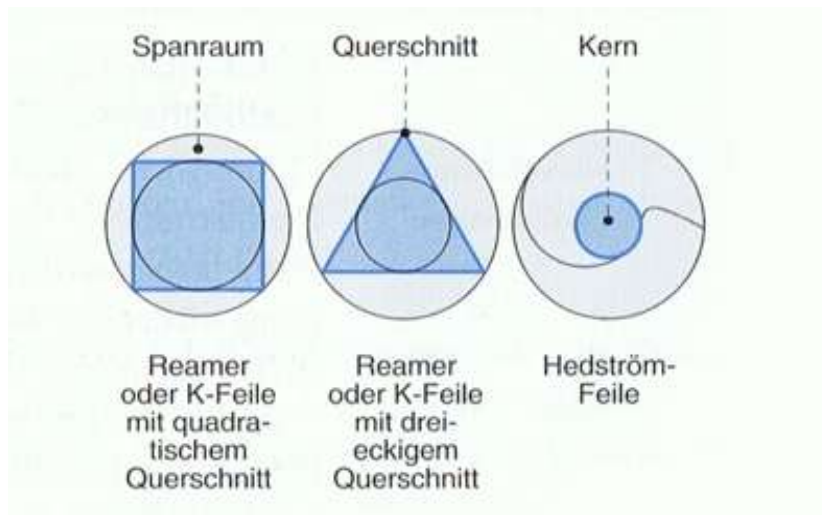


Abb. 4: Unterschiedliche Kerndurchmesser und daraus resultierende verschieden große Spanräume (aus Hellwig et al. 2007, S. 315)

Dabei entscheidet die Größe des Spanraums, wie viel Material aus einem Wurzelkanal heraustransportiert werden kann. Den größten Spanraum weisen Reamer und Hedström-Feilen auf (Hellwig et al. 2007). Umgekehrt kann man darauf schließen, dass ein großer Spanraum auch hilfreich für die Aufnahme und die Applikation eines Materials sein muss. Die K-Feile zeigt mit ihrem viereckigen Querschnitt den geringsten Spanraum. In mehreren Studien stellte sich heraus, dass die Applikation von Kalziumhydroxid mittels einer K-Feile immer die schlechtesten Resultate lieferte (Sigurdsson et al. 1992, Staehle et al. 1997). Staehle et al. (1997) beschrieben die Applikation von Kalziumhydroxid folgendermaßen: Nachdem die Arbeitslänge mit einer Längenmarkierung am Instrument festgelegt wurde, wird eine kleine Menge der Kalziumhydroxidpaste auf das apikale Drittel des Instruments aufgetragen und dann unter ständigem Wandkontakt mit einer Drehbewegung gegen den Uhrzeigersinn in den Kanal rotiert. Dies wird so lange wiederholt, bis überschüssiges Kalziumhydroxid am Kanaleingang erscheint. Sigurdsson et al. (1992) beschickten eine K-Feile mit Kalziumhydroxid und ließen diese drei vollständige Umdrehungen gegen den Uhrzeigersinn auf Arbeitslänge rotieren. Deveaux et al. (2000) verwendeten statt einer K-Feile einen Gutta-Condensor (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz). Sie füllten die Zugangskavität mit Hilfe eines Spatels mit Kalziumhydroxidpaste und beschickten den Gutta-Condensor zusätzlich mit Ca(OH)_2 . Das Instrument wurde auf 2 mm weniger als die Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingeführt und bei 5000 Umin^{-1} unter ständigem Wandkontakt

angetrieben. Dies wurde so lange wiederholt, bis überschüssiges Kalziumhydroxid am Kanaleingang sichtbar wurde. Der Gutta-Condensor wurde ursprünglich entwickelt, um Guttapercha in den Kanal einzubringen. Es handelt sich um ein maschinell betriebenes Instrument, welches bei $8000 - 10000 \text{ Umin}^{-1}$ durch Reibungswärme Guttapercha plastifiziert und verdichtet. Dabei ähnelt der Gutta-Condensor einer umgedrehten Hedström-Feile.

2.4.5.3 Einrotieren mit Förderspiralen

Förderspiralen zur Applikation von Pasten oder Zementen sind seit vielen Jahren auf dem Markt. Hierzu gehören zum einen das von Henri Lentulo erfundene und nach ihm benannte Instrument, der Lentulo, welches seit 1928 hergestellt wird. Der Lentulo ist eine linksdrehende Spirale zur Verwendung im Winkelstück. Um eine Paste in den Wurzelkanal einzubringen, wird die Spitze des Lentulos mit Material beschickt, das Instrument vorsichtig bis auf Arbeitslänge in den Kanal eingeführt und bei Umdrehungszahlen von max. 800 Umin^{-1} langsam rechtsdrehend aus dem Kanal gezogen (Hellwig et al. 2007). Andere Autoren empfehlen, das Instrument nicht bis zum Ende der Arbeitslänge in den Kanal einzuführen und verwenden eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 500 Umin^{-1} (Deveaux et al. 2000). Eine weitere Förderspirale mit abgeflachtem Profil ist seit einigen Jahren verfügbar. Dieses Pastinject (Abb. 5) (MicroMega, Besançon, Frankreich) genannte Instrument wird durch Verdrehen eines flachen Stahlbandes hergestellt, wohingegen die Lentulospirale (Abb. 6) durch Verwinden eines Drahtes entsteht. Die Technik zur Applikation mit Hilfe des Pastinject unterscheidet sich nicht wesentlich von der Verwendung des Lentulos.



Abb. 5: Pastinject, Förderspirale zum Applizieren von Pasten (aus Firmenwebsite www.micro-mega.com, Seitenabruf: 10.05.2011)



Abb. 6: Lentulo, Förderspirale zum Applizieren von Pasten (aus Firmenwebsite www.micro-mega.com, Seitenabruf: 10.05.2011)

Staehele et al. (1997) überprüften drei verschiedene Applikationstechniken (Injektion, Lentulo und Reamer) und kamen zu der Schlussfolgerung, dass Einlagen mittels eines Spritzensystems in geraden oder leicht gekrümmten Wurzelkanälen in ausreichender Tiefe und Qualität eingebracht werden können. Hier erreichte die Applikation mit einem rotierenden Reamer die schlechtesten Ergebnisse. Die Applikation mit Injektionssystemen sowie die Verwendung spezieller Förderspiralen wurden auch von Braun & Nolden (1999) als die überlegene Methode bewertet. Zusätzlich zeigte ihre Studie, dass das Nachkondensieren mit einem Wattepellet zusätzlich die Eindringtiefe und Homogenität einer Ca(OH)_2 Einlage verbessern kann.

2.4.5.4 Ultraschall

Die Anwendung von Ultraschallgeräten in der Endodontie hat sich in den letzten Jahren immer mehr etabliert. Vor allem in der Spültechnik konnte von mehreren Autoren belegt werden, dass eine zusätzliche Aktivierung der Spüllösung durch Ultraschall der Handspülung mit Spritze und Injektionskanäle überlegen ist (van der Sluis et al. 2005, Kenee et al. 2006). Ultraschallgeräte wurden zum ersten Mal 1957 in der Endodontie eingesetzt (Richman 1957). Bei der Ultraschallspülung wird die Schallenergie der oszillierenden Feile auf die Flüssigkeit im Wurzelkanal übertragen. Die Schallenergie wird dabei in Form von „acoustic streaming“ und Kavitation in der Spülflüssigkeit übertragen (Ahmad et al. 1987, Ahmad et al. 1988, Ahmad et al. 1992, Lumley et al. 1992, Roy et al. 1994). Unter „acoustic streaming“ versteht man ein Fließen der Spülflüssigkeit um die aktivierte Feile. Durch die Ausbildung von Schallbäuchen und Schallknoten an der Feile wird Energie von der Feile auf die umliegende Spülflüssigkeit übertragen. Dabei wird auf die Flüssigkeit soviel Energie übertragen, dass es zu sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Flüssigkeit kommt. Dadurch entsteht eine höhere Umwälzrate der Spülflüssigkeit und somit eine bessere Benetzung der Kanalwände (Ahmad et al. 1992, van der Sluis et al. 2006). Kavitation bedeutet ein Ausbilden und Implodieren von Dampfblasen in der Spülflüssigkeit (van der Sluis et al. 2007). Andere Forscher behaupten hingegen, dass ultraschallaktivierte Feilen keine Kavitation hervorrufen können (Walmsley 1987, Ahmad et al. 1988, Lumley et al. 1988). Die Vorteile der Ultraschallspülung gegenüber einer Handspülung ließen einige Autoren auf die Idee kommen, sie auch für weitere Zwecke einzusetzen, z. B. die Applikation von Wurzelkanalfüllmaterialien.

So beschrieben Wiemann & Wilcox (1991) bereits die Applikation von Sealer mit Hilfe von Ultraschall. In einer Studie von Deveaux et al. (2000) wurden verschiedene Applikationsmethoden von Ca(OH)_2 verglichen. Unter anderem wurde das Kalziumhydroxid mittels einer ultraschallaktivierten Feile in den Wurzelkanal eingebracht. Sie verwendeten eine Feile vom K-Typ, welche der Größe des vorletzten Präparationsinstrumentes entsprach. Von anderen Autoren wird hingegen empfohlen, ein möglichst kleines Instrument zur Ultraschallaktivierung zu verwenden, um der Feile einen größtmöglichen Bewegungsfreiraum zu geben (Krell et al. 1988). Bei Anwendung dieser nicht schneidenden Technik wird das Risiko einer iatrogenen Schädigung (via falsa) oder einer Perforationen auf ein Minimum reduziert. Dabei gilt es zu beachten, dass eine Feile größer als ISO 15 oder ISO 20 nur in sehr weiten Wurzelkanälen frei schwingen kann. Es hat sich herausgestellt, dass eine Feile der ISO-Größe 25 tatsächlich weniger „acoustic streaming“ erzeugt als eine Feile der ISO-Größe 15 (Ahmad et al. 1987). Die Anwendung ultraschallaktivierter Feilen in gekrümmten Wurzelkanälen ist grundsätzlich möglich, allerdings sollte die Feile der Kanalkrümmung entsprechend vorgebogen werden (Ahmad et al. 1992, Lumley et al. 1992). Hierbei wird ein gleiches Strömungsmuster erzeugt, ohne dass eine Gefahr der Beschädigung der Wurzelkanalwand entsteht.

3. Ziel der Studie

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Effektivität der verschiedenen Applikationsmethoden von Kalziumhydroxid in standardisierten künstlichen Wurzelkanälen zu untersuchen.

4. Material und Methode

Der Versuchsaufbau lehnt sich an die Untersuchung von Rivera und Williams (1994) an und wurde bereits in ähnlicher Form in weiteren Studien zur Applikation von Kalziumhydroxid verwendet (Braun und Nolden 1999, Peters OA et al. 2005).

4.1 Vorbereitende Maßnahmen

Für die vorliegende Studie wurden 180 konfektionierte Wurzelkanalmodelle aus Kunststoff (Vereinigte Dentalwerke, München) mit gekrümmten Kanälen (Krümmungswinkel 44°) verwendet. Alle Kanäle wurden mit Hilfe eines Reamers der ISO-Größe 10 (Vereinigte Dentalwerke) auf Gängigkeit überprüft. Kunststoffmodelle mit nicht gängigen Kanälen wurden aussortiert. Die Kunststoffmodelle wurden randomisiert in 3 Gruppen zu jeweils 60 Proben entsprechend der Präparationsgröße aufgeteilt:

- Gruppe 1: Größe 25
- Gruppe 2: Größe 35
- Gruppe 3: Größe 45.

4.2 Präparation der Kunststoffkanäle

Alle Kunststoffkanäle wurden mit Nickel-Titan-Instrumenten (FlexMaster, Vereinigte Dentalwerke) und einem drehmomentregulierten Motor (Endo IT, Vereinigte Dentalwerke) entsprechend der jeweiligen Gruppe bis auf Größe 25, 35 oder 45 präpariert, wobei die Arbeitslänge (AL) 17,5 mm betrug. Die Eindringtiefen der einzelnen FlexMaster-Feilen wurden standardisiert wie folgt festgelegt:

Instrument	Arbeitslänge	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
Intro-Feile:	9,0 mm	9,0 mm	9,0 mm	9,0 mm
06/30:	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,0 mm
06/25:	11,0 mm	11,0 mm	11,0 mm	11,0 mm
06/20:	13,0 mm	13,0 mm	13,0 mm	13,0 mm
04/30:	13,5 mm	13,5 mm	13,5 mm	13,5 mm
04/25:	15,5 mm	15,5 mm	15,5 mm	15,5 mm
04/20:	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm	17,0 mm
02/20:	17,5 mm	17,5 mm	17,5 mm	17,5 mm
02/25:	17,5 mm	17,5 mm	17,5 mm	17,5 mm
02/30:	17,5 mm		17,5 mm	17,5 mm
02/35:	17,5 mm		17,5 mm	17,5 mm
02/40:	17,5 mm			17,5 mm
02/45:	17,5 mm			17,5 mm

Tab. 1: Instrumentensequenz zur Präparation der Kunststoffkanäle in den Gruppen I-III

Nach jedem Instrumentenwechsel wurde der Kunststoffkanal mit Hilfe einer Einwegspritze (B. Braun, Melsungen) und einer Kanüle mit einem Außendurchmesser von 0,3 mm (NaviTip, Ultradent Products, South Jordan, UT, USA) mit 2 ml Wasser gespült. Anschließend wurde die Gängigkeit des Kanals mit Hilfe eines Reamers der ISO-Größe 10 überprüft (Abb. 7), um einer Verblockung der apikalen Öffnung des Plastikkanals vorzubeugen und damit eine mögliche spätere Überpressung von Hypocal (Merz Dental GmbH, Lütjenburg, Abb. 8) nicht zu verhindern.

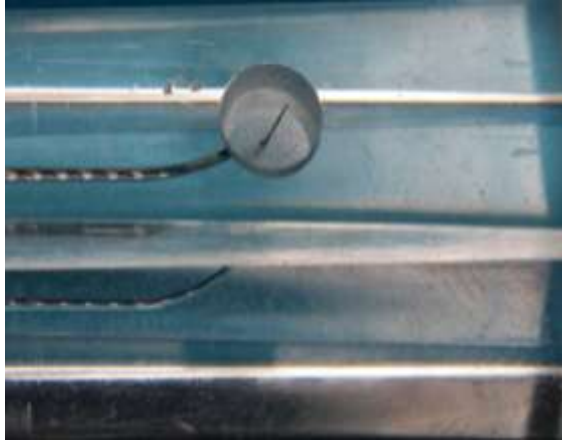


Abb. 7: Überprüfung der Gängigkeit



Abb. 8: Hypocal Applikationsspritze

4.3 Apikaler Verschluss des Kunststoffkanals

Nach der Präparation der Kanäle und der Überprüfung der apikalen Gängigkeit wurde die 1 mm tiefe Mulde am Ende des Kanals mit Hilfe eines individuell hergestellten Silikonstopps aus Silaplast Futur (Detax, Ettlingen) und einem Streifen Tesafilm (TESA SE, Hamburg) (Abb. 9-10) verschlossen. Dieses Vorgehen diente dazu, den *in vivo* vorliegenden apikalen Gewebedruck zu simulieren. In Vorversuchen wurde festgestellt, dass ohne eine apikale Barriere in jedem Fall ein Überpressen des Kalziumhydroxids erfolgt. Weiterhin zeigte sich, dass ein reines Verkleben der Mulde mittels eines Streifen Tesafilms keine ausreichende Barriere darstellte und bei allen Proben eine Überpressung auftrat. Ein luftdichter Verschluss durch Sekundenkleber (Renfert, Hilzingen) ließ hingegen in keinem Fall eine Extrusion der Kalziumhydroxidpaste zu. Ein passgenauer Silikonstopp, welcher zusätzlich mit Tesafilm gesichert wurde, zeigte in den Vorversuchen die besten Ergebnisse.



Abb. 9: Kunststoffmodell und Silikonstopp

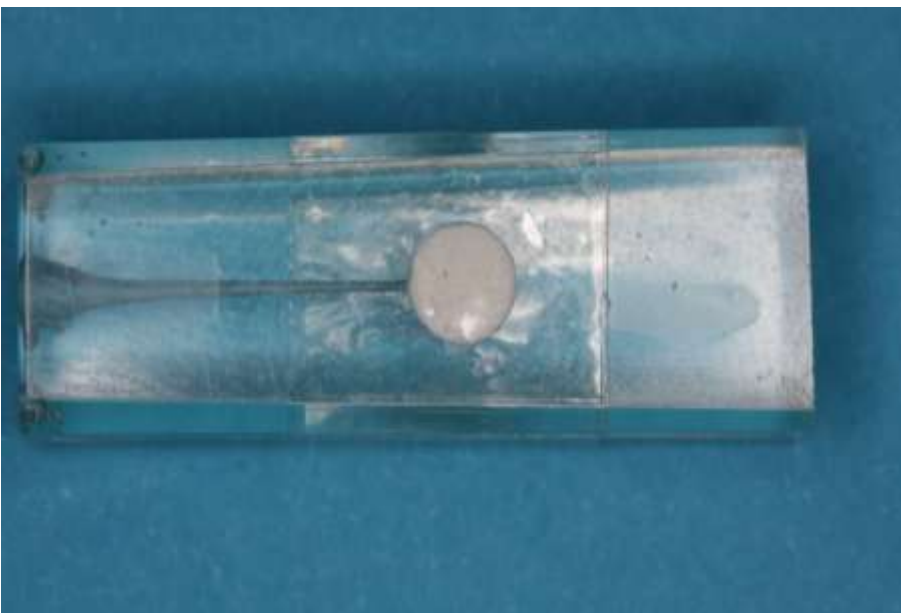


Abb. 10: Kunststoffmodell mit Silikonstopp und Tesafilm verschlossen

4.4 Applikation des Kalziumhydroxids

Die nummerierten Kunststoffkanäle wurden von außen mit einem Silikon Schlüssel aus Silaplast Futur blickdicht verschlossen, um eine visuelle Kontrolle des Füllvorgangs zu vermeiden (Abb. 11).



Abb. 11: Kunststoffkanal blickdicht verschlossen

Des Weiteren wurden die unterschiedlichen Füllmethoden in randomisierter Reihenfolge durchgeführt, um einen „Trainingseffekt“ bzw. einen „Gewöhnungseffekt“ des Behandlers zu verhindern. Im Folgenden wurde jede der drei Gruppen in drei weitere Untergruppen (A, B, C) à 20 Kunststoffkanäle aufgeteilt.

Gruppe A: Pastinject (PI) (Micro Mega, Besançon, Frankreich) (Abb. 13)

Gruppe B: Papierspitze (PS) (Henry Schein, Melville, NY, USA) (Abb. 14)

Gruppe C: Ultraschall (US) (EMS, Nyon, Schweiz) (Abb. 15)



Abb. 12: Pastinject in den Größen ISO 20, ISO 30, ISO 40

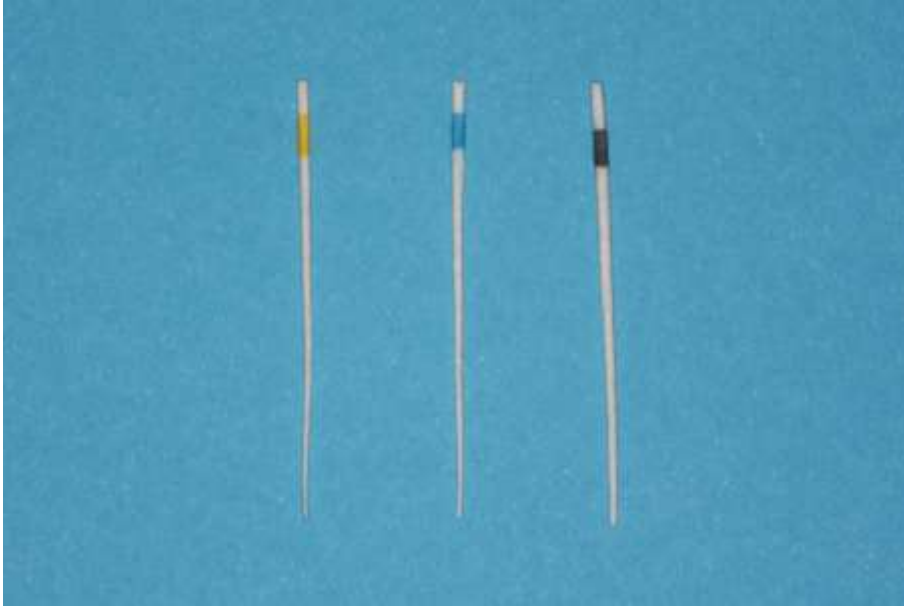


Abb. 13: Papierspitzen in den Größen ISO 20, ISO 30, ISO 40



Abb. 14: Vorgebogener Reamer (ISO 15) in ein Ultraschall-Handstück eingespannt

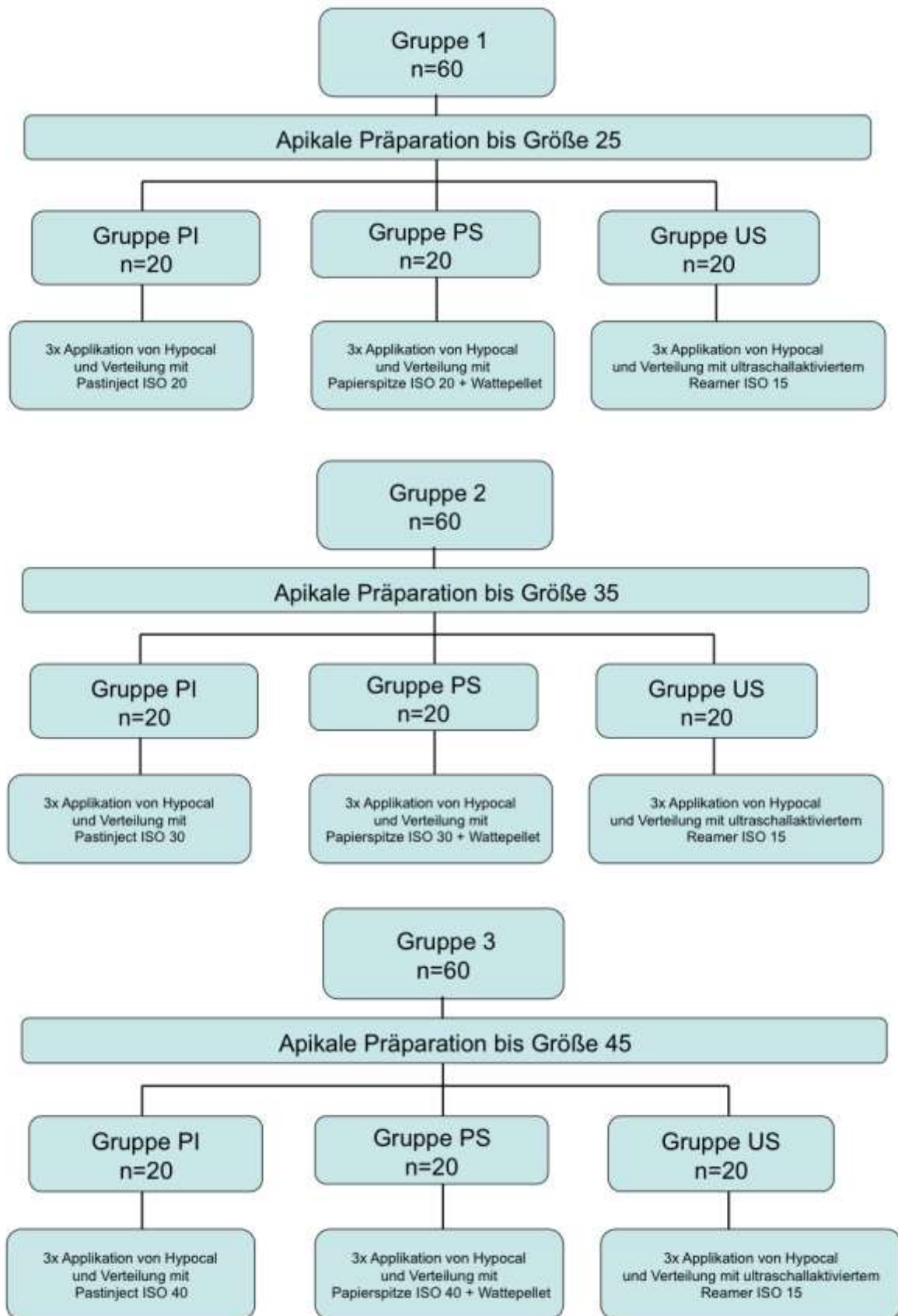


Abb. 15: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns

In die unterschiedlich präparierten Kunststoffkanäle (Größe 25, 35, 45) wurde nun entsprechend der Applikationsform (Untergruppe PI, PS oder US) das Kalziumhydroxidpräparat Hypocal eingebracht.

Gruppe Pastinject (PI)

Hypocal wurde mit Hilfe einer Applikationskanüle mit einem Außendurchmesser von 0,9 mm (Merz Dental GmbH) von koronal in den Kanal eingebracht und mittels eines Pastinject bei einer Eindringtiefe von AL minus 1 mm mit 1000 Umin^{-1} für 15 Sekunden im Kanallumen verteilt. Das Instrument wurde danach unter ständigem Wandkontakt aus dem Kanal entfernt. Dieses Vorgehen wurde drei Mal wiederholt.

Gruppe Papierspitze/Wattepellet (PS)

Hypocal wurde mit Hilfe einer Applikationskanüle der Größe 90 von koronal in den Kanal eingebracht und mit einer Papierspitze (Henry Schein, Melville, NY, USA) und drei pumpenden Bewegungen bei einer Amplitude von 1 mm im Kanallumen verteilt. Dieses Vorgehen wurde drei Mal wiederholt und abschließend wurde das Kalziumhydroxid von koronal mit einem Wattepellet (Henry Schein, Melville, NY, USA) verdichtet.

Gruppe Ultraschall (US)

Hypocal wurde mit Hilfe einer Applikationskanüle der mit einem Außendurchmesser von 0,9 mm von koronal in den Kanal eingebracht und anschließend mit einem Reamer der Größe 15 (Vereinigte Dentalwerke), der in den Halter eines Ultraschallgerätes (Piezon Master 400, EMS, Nyon, Schweiz) eingespannt war, im Kanal verteilt. Der Reamer wurde entsprechend der Kanalkrümmung vorgebogen und auf Arbeitslänge minus 1 mm in den Kanal eingeführt. Die Aktivierungszeit des Ultraschallgerätes betrug 5 s und erfolgte bei einer Leistungseinstellung von 30%.

In der Gruppe PI wurde die Größe des Pastinjects jeweils eine Größe kleiner als der Präparationsquerschnitt des Kunststoffkanals gewählt. So wurde in der Gruppe 1-PI

mit der Präparationsgröße 25 ein Pastinject mit der Größe 20, in der Gruppe 2-PI ein Pastinject mit der Größe 30 und in der Gruppe 3-PI die Größe 40 gewählt.

In der Gruppe PS wurde wie in Gruppe PI verfahren. Hier wurde die Größe der Papierspitze ebenfalls auf den Präparationsquerschnitt abgestimmt und jeweils eine Größe kleiner gewählt. So wurde in der Gruppe 1-PS mit der Präparationsgröße 25 eine Papierspitze mit der Größe 20, in der Gruppe 2-PS eine Papierspitze mit der Größe 30, und in der Gruppe 3-PS die Größe 40 gewählt.

In Gruppe US wurde bei jedem der 3 verschiedenen Präparationsquerschnitte ein Reamer der Größe 15 benutzt, welcher der Kanalkrümmung folgend vorgebogen war.

Gruppe PI „Pastinject“

Präparationsgröße des Kunststoffkanals	Größe des Pastinject
25	20
35	30
45	40

Tab. 2: Übersicht über die Durchmesser der verwendeten Instrumente in der Gruppe PI

Gruppe PS „Papierspitze“

Präparationsgröße des Kunststoffkanals	Größe der Papierspitze
25	20
35	30
45	40

Tab. 3: Übersicht über die Durchmesser der verwendeten Instrumente in der Gruppe PS

Gruppe US „Ultraschall“

Präparationsgröße des Kunststoffkanals	Größe des Reamers
25	15
35	15
45	15

Tab. 4: Übersicht über die Durchmesser der verwendeten Instrumente in der Gruppe US

4.5 Röntgen

Die Kunststoffmodelle wurden anschließend in eine Halterung eingesetzt, um die Anfertigung der Röntgenbilder zu standardisieren. Hierbei handelte es sich um einen modifizierten Röntgenprüfkörper QUART dent/digitest 2.1 (Quart GmbH, Zorneding). Für die Erstellung der digitalen Röntgenaufnahmen wurde das Röntgengerät Elitys (Trophy Radiologie SA, Marne-la-Vallée, Frankreich) verwendet. Der Tubus des Röntgengeräts wurde dafür direkt in einem Abstand von 0,5 cm über dem Kunststoffkanal in der Haltungsverrichtung arretiert (Abb. 16). Der CCD Sensor befand sich in einem Abstand von 0,2 cm direkt unter der Probe. Die Einstellungen am Röntgengerät betragen für alle Aufnahmen 60 kV, 0,043 s und 6 mA.

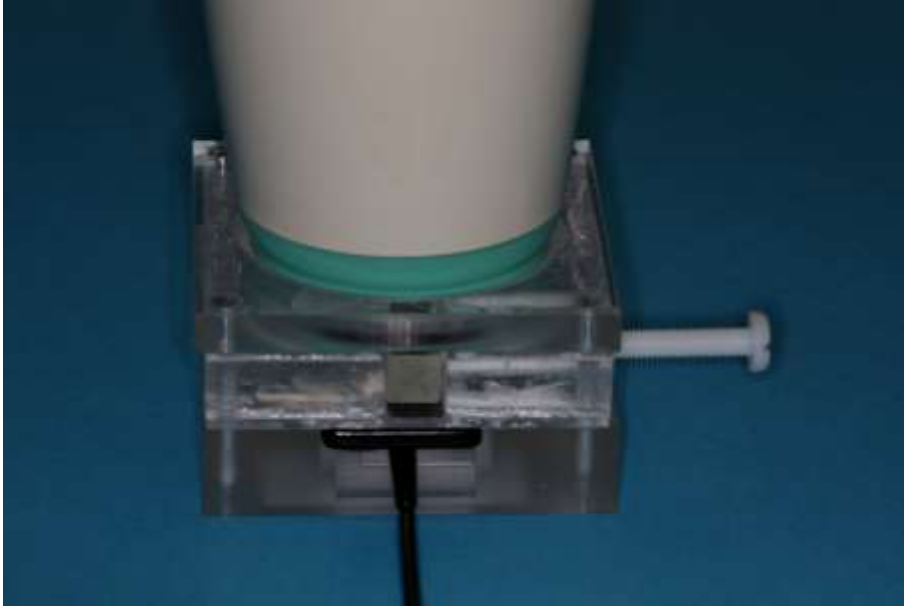


Abb. 16: Modifizierter Röntgenprüfkörper mit eingespannter Probe und aufgesetztem Röntgentubus und CCD-Sensor

4.5.1 Ablauf des Röntgenvorgangs

Die Position des Röntgentubus wurde durch den modifizierten Röntgenprüfkörper QUART dent/digitest 2.1 gewährleistet. Um die Homogenität und Dichtigkeit der Kalziumhydroxidfüllungen bestimmen zu können, erfolgte die Bewertung der Qualität der Kalziumhydroxidfüllung durch zwei kalibrierte Untersucher. Zunächst wurden die Bilder verschlüsselt, so dass für die Untersucher keine Zuordnung der Röntgenaufnahmen zu einer der experimentellen Gruppen möglich war. Das verwendete Scoresystem wurde bereits von Staehle et al. (1997) in leicht modifizierter Form publiziert und bestand in der vorliegenden Untersuchung aus folgenden Scores (Tab. 5, Abb. 17 – 26):

Kriterium	Score	Röntgenbild
A Vollständigkeit der Füllung	1	> 2/3 des Kanals oder vollständig gefüllt
	2	> 1/3 aber weniger als 2/3 des Kanals gefüllt
	3	< oder gleich 1/3 des Kanals gefüllt
B Qualität der Füllung im apikalen Anteil	1	Keine Lufteinschlüsse oder ungefüllte Bereiche im apikalen Bereich des Kanals
	2	Lufteinschlüsse oder ungefüllte Bereiche im apikalen Bereich des Kanals
C Überpressung ja/nein	1	Nein
	2	Ja
D Größe der Lufteinschlüsse	1	<1 mm
	2	1-3 mm
	3	>3 mm

Tab. 5: Übersicht über das Bewertungssystem (mod. nach Staehle et al. 1997, S. 108)

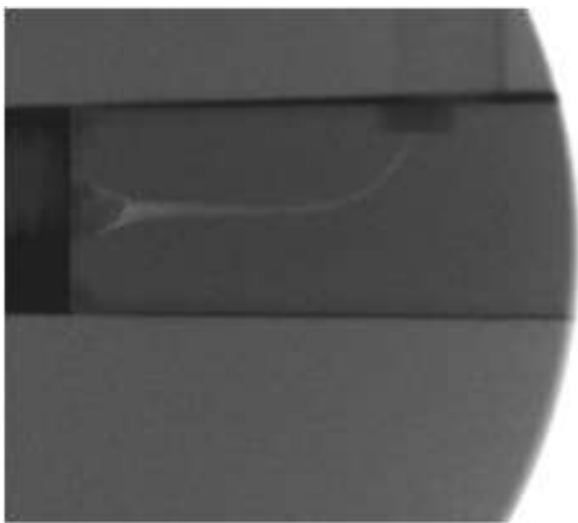


Abb.17: Score A1: > 2/3 des Kanals oder vollständig gefüllt

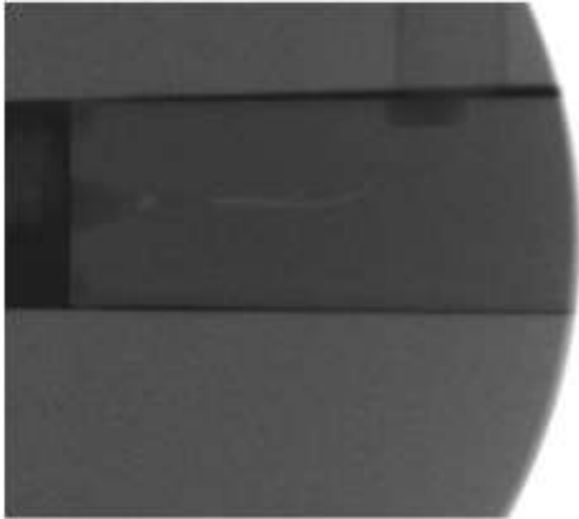


Abb. 18: Score A2: $> 1/3$ aber weniger als $2/3$ des Kanals sind gefüllt

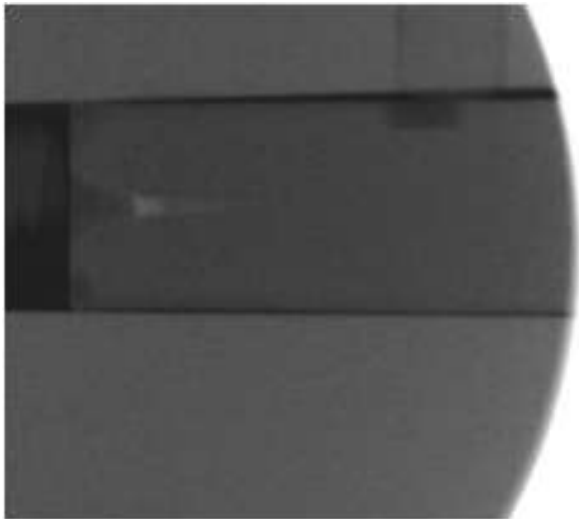


Abb.19: Score A3: $<$ oder gleich $1/3$ des Kanals sind gefüllt

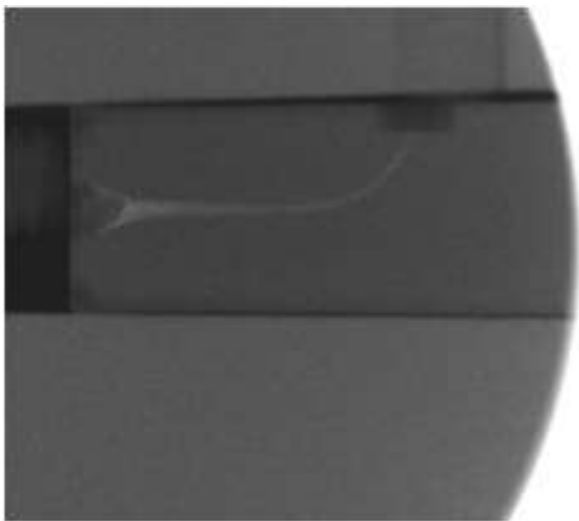


Abb.20: Score B1: Keine Lufteinschlüsse oder ungefüllte Bereiche im apikalen Bereich des Kanals

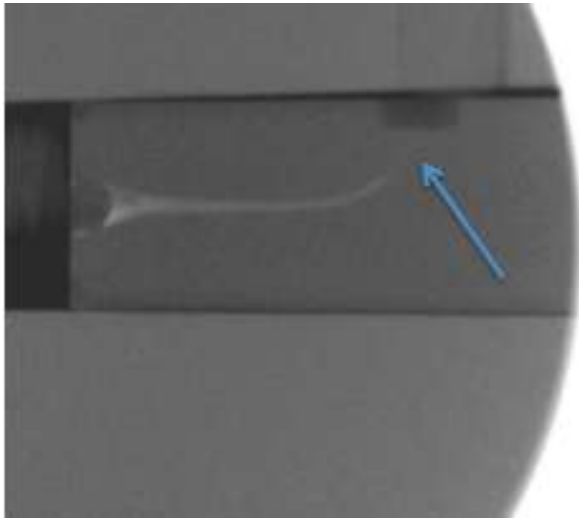


Abb.21: Score B2: Lufteinschlüsse oder ungefüllte Bereiche im apikalen Bereich des Kanals

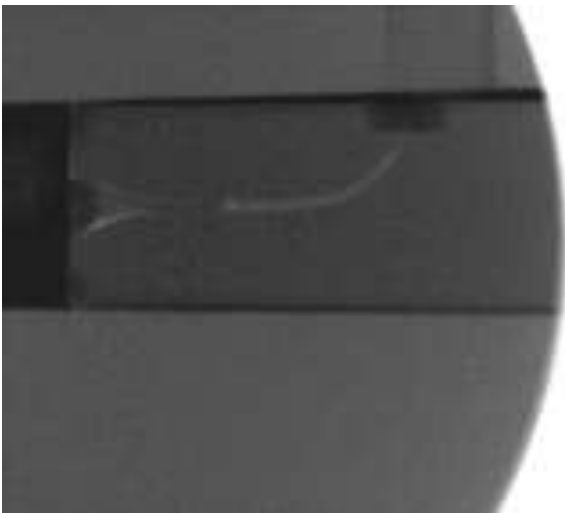


Abb. 22: Score C1: Keine Überpressung mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$

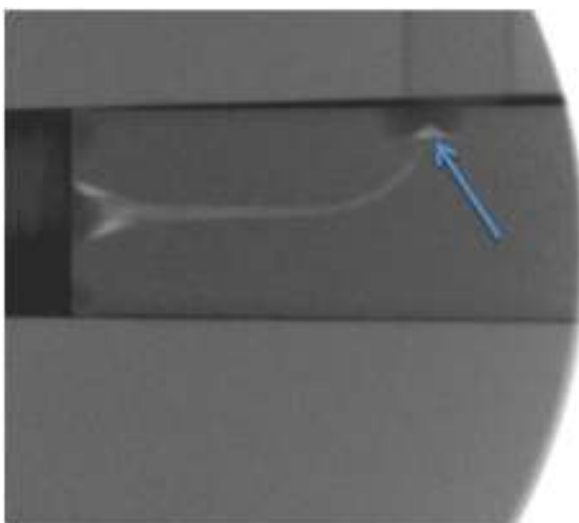


Abb. 23: Score C2: Überpressung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$

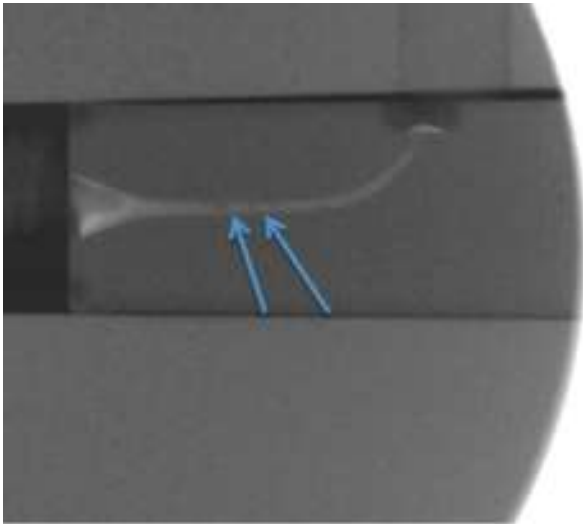


Abb. 24: Score D1: Größe der Blasen < 1 mm

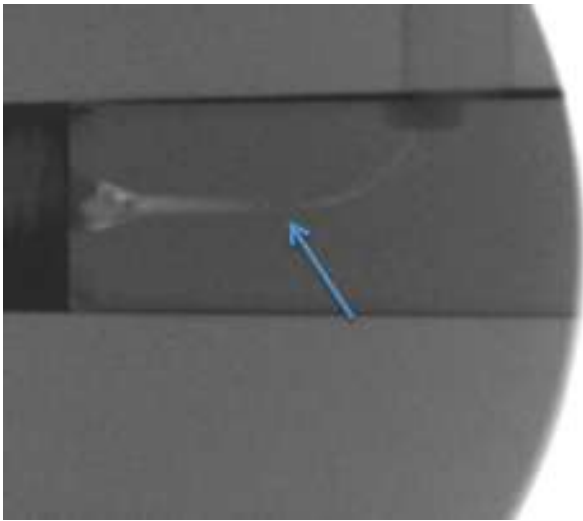


Abb. 25: Score D2: Größe der Blasen 1-3 mm

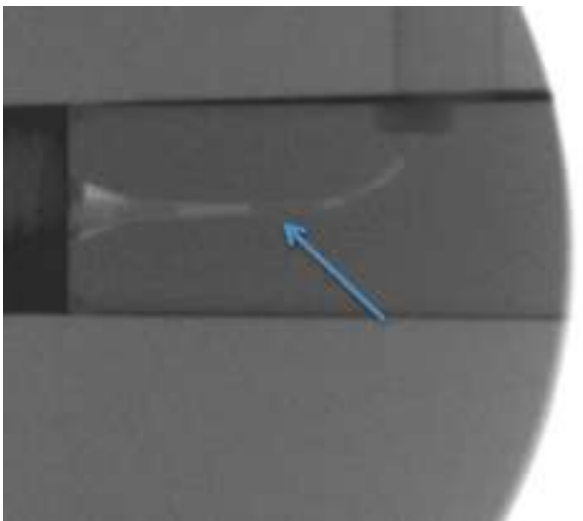


Abb. 26: Score D3: Größe der Blasen > 3 mm

Die Kalibrierung der Untersucher fand vor der Hauptuntersuchung statt. Hierfür wurden zunächst 180 Röntgenbilder bewertet und diskutiert. Im Folgenden wurden nochmals 60 Bilder bewertet und abweichende Ergebnisse besprochen. Fünf Tage später bewerteten die Untersucher erneut 60 Bilder und diskutierten wiederum abweichende Ergebnisse. Aus diesen Ergebnissen wurden die interindividuelle Übereinstimmung und die intraindividuelle Reproduzierbarkeit berechnet (Hülsmann et al. 1996). Für die interindividuelle Übereinstimmung wurde der Quotient aus den von beiden Untersuchern übereinstimmend bewerteten Proben und der Gesamtprobenzahl bestimmt. Das Ergebnis wurde in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl des Ergebnisses, desto mehr Proben wurden von beiden Untersuchern mit demselben Score bewertet.

Für die interindividuelle Reproduzierbarkeit wurde der Quotient aus den von einem Untersucher in einem zweiten Durchgang erneut mit dem gleichen Score bewerteten Proben und der Gesamtprobenzahl ermittelt. Das Ergebnis wurde wiederum in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl, desto mehr Proben hat der Untersucher in einem zweiten Durchgang erneut mit demselben Score bewertet wie im Durchgang zuvor. Diese Resultate geben eine Aussage über das Maß der Standardisierung in der Bewertung der Proben.

Die Ergebnisse der Versuche wurden mit einem nichtparametrischen Rangverfahren für longitudinale Daten für die Faktoren Applikation, Reader und Reader x Applikation ausgewertet. Weiterhin wurden Paarvergleiche für multiples Testen adjustiert nach Tukey angestellt. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha=0,05$ festgelegt.

5. Ergebnisse

5.1 Untersucherübereinstimmung

Im ersten Durchgang der Bewertung lag die interindividuelle Übereinstimmung bereits bei 82%, im endgültigen Durchgang bei 91%. Bei Untersucher 1 betrug die intraindividuelle Reproduzierbarkeit 95%, bei Untersucher 2 97%.

5.2 Ergebnisse der Hauptuntersuchung

5.2.1 Statistische Auswertung

Da es sich bei den erhobenen Daten um ordinale bzw. dichotome Daten handelt, wurden diese mit einem nichtparametrischen Rangverfahren für longitudinale Daten ausgewertet (Brunner et al. 2002).

Die Daten sind longitudinal, da jede Versuchseinheit wiederholt von zwei Readern beurteilt wurde. Als Effekt wurden hier sog. relative Effekte verwendet, die sich leicht als normierte Rangmittelwerte interpretieren lassen, wobei die Ränge über alle Daten vergeben wurden. Diese beschreiben letztlich die Wahrscheinlichkeit, dass die Beobachtungen einer Stichprobe zu kleineren Werten als die Beobachtungen der anderen Stichproben tendieren.

Folgende Fragen sollten mit Hilfe der statistischen Analyse beantwortet werden:

1. Haben die unterschiedlichen Präparationsgrößen einen Einfluss auf die Effektivität der Applikationsmethode?
2. Hat die Applikationsmethode einen Einfluss auf die Qualität der medikamentösen Einlage? Unterscheiden sich die Applikationsmethoden?
3. Gibt es eine Interaktion zwischen Reader und Applikationsmethode?

Zunächst wurden die Rangmittelwerte in einer Grafik aufgetragen. Zusätzlich wurden die drei oben beschriebenen Effekte getestet, wobei die Hypothesen direkt in den Verteilungsfunktionen getestet wurden.

Dabei zeigte sich die Applikationsmethode als signifikant ($p < 0,0001$). Signifikante Unterschiede bezüglich der Reader ($p = 0,3173$) oder Interaktionen zwischen Untersucher (Reader) und Applikation gab es nicht ($p = 0,3679$). Es zeigten sich signifikante Einzeleffekte der Methode und der Wurzelkanalgröße auf das Ergebnis.

Mit Paarvergleichen adjustiert für multiples Testen nach Tukey wurde überprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den Applikationstechniken vorliegen. Bei den p-Werten handelt es sich um adjustierte p-Werte.

Eine deskriptive Übersicht über die normierten Rangmittelwerte (sog. relative Effekte) ist in Tabelle 6 angegeben:

Kriterium	Applikations- methode	Rangmittelwerte		
		ISO 25	ISO 35	ISO 45
Kriterium A: (Vollständigkeit der Füllung)	Pastinject	0,246	0,371	0,532
	Papierspitze	0,825	0,813	0,714
	Ultraschall	0,431	0,312	0,254
Kriterium B: (Qualität der Füllung im apikalen Anteil)	Pastinject	0,321	0,496	0,508
	Papierspitze	0,631	0,566	0,483
	Ultraschall	0,546	0,451	0,508
Kriterium C: (Überpressung der Ca(OH) ₂ -Paste)	Pastinject	0,625	0,483	0,442
	Papierspitze	0,425	0,612	0,542
	Ultraschall	0,45	0,401	0,517
Kriterium D: (Lufteinschlüsse in der Wurzelfüllung)	Pastinject	0,267	0,44	0,515
	Papierspitze	0,703	0,763	0,709
	Ultraschall	0,52	0,301	0,275

Tab. 6: Normierte Rangmittelwerte für die Präparationsgrößen 25, 35 und 45

5.2.2 Vergleich der Applikationstechniken in Gruppe 1 (Größe 25)

Da sich normierte Rangmittelwerte nur schwer grafisch veranschaulichen lassen, ist die Verteilung der Scores in den Abbildungen 27, 28, 29 und 30 noch einmal in der Übersicht abgebildet:

Kriterium A

(Vollständigkeit der Füllung)

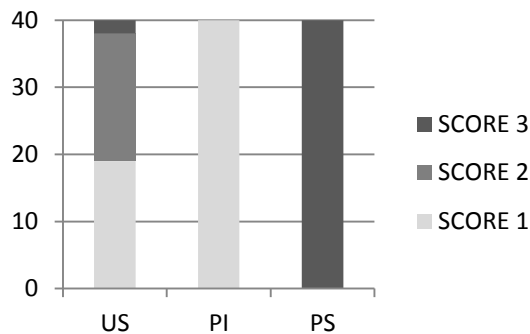


Abb. 27: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 1 (Größe 25) hinsichtlich des Kriteriums A „Vollständigkeit der Füllung“.

Score 1: > 2/3 des Kanals oder vollständig gefüllt

Score 2: > 1/3 aber weniger als 2/3 des Kanals gefüllt

Score 3: < oder gleich 1/3 des Kanals gefüllt

Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall

PI = Pastinject

PS = Papierspitze

Kriterium B

(Qualität der Füllung im apikalen Anteil)

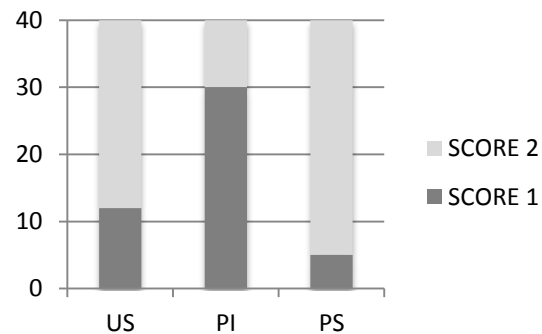


Abb. 28: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 1 (Größe 25) hinsichtlich des Kriteriums B „Qualität der Füllung im apikalen Anteil“.

Score 1: keine Lufteinschlüsse

Score 2: Lufteinschlüsse

Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall

PI = Pastinject

PS = Papierspitze

Kriterium C

(Überpressung des Medikaments)

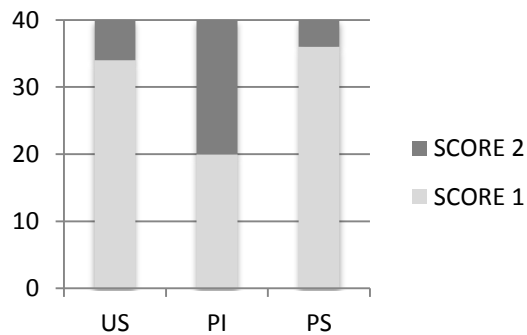


Abb. 29: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 1 (Größe 25) hinsichtlich des Kriteriums C „Überpressung des Ca(OH)₂ über die apikale Konstriktion“. Score 1 = nein
Score 2 = ja
Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
PI = Pastinject
PS = Papierspitze

Kriterium D

(Größe der Lufteinschlüsse)

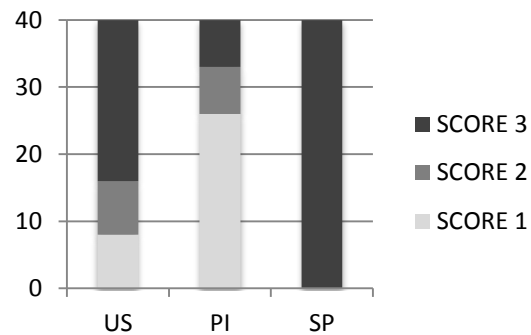


Abb. 30: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 1 (Größe 25) hinsichtlich des Kriteriums D „Größe der Lufteinschlüsse“. Score 1: < 1 mm
Score 2: 1-3 mm
Score 3: > 3 mm
Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
PI = Pastinject
PS = Papierspitze

Hieraus ergeben sich folgende p-Werte, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben:

Präparationsgröße 25, adjustierte p-Werte:

Vergleiche	Kriterium A (Vollständigkeit der Füllung)	Kriterium B (Qualität der Füllung im apikalen Bereich)	Kriterium C (Überpressung über den Apex hinaus)	Kriterium D (Größe der Lufteinschlüsse)
PI vs. PS	0,0001	0,0001	0,0078	0,0001
PI vs. US	0,0001	0,0033	0,0224	0,0003
PS vs. US	0,0001	0,3853	0,9195	0,0075

Tab. 7: Adjustierte p-Werte in Gruppe 2 (Größe 25)

Es zeigte sich, dass die Applikationstechnik „Pastinject“ bei 3 von 4 Bewertungskriterien zu signifikant besseren Ergebnissen führte als die Techniken „Papierspitze“ oder „Ultraschall“. Mit dem Pastinject wurde für das Bewertungskriterium A (Vollständigkeit der Füllung) ein signifikant besseres Ergebnis erreicht als mit den beiden anderen Methoden ($p=0,0001$). Die Gruppe „US“ erreichte ebenfalls ein signifikant besseres Ergebnis als die Gruppe „PS“ ($p=0,0001$) (Abb. 27, Tab. 7)

Für das Bewertungskriterium B (Qualität der Füllung im apikalen Anteil) erzielte die Applikationsmethode Pastinject signifikant bessere Ergebnisse als die anderen Methoden ($p<0,0033$). Zwischen „Ultraschall“ und „Papierspitze“ konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden ($p=0,3853$) (Abb.28, Tab. 7).

Für das Bewertungskriterium C (Extrusion von Ca(OH)_2) zeigt die Gruppe „PS“ die wenigsten Überpressungen. Der Unterschied zur Gruppe „PI“ ist signifikant ($p=0,0078$). Ein signifikanter Unterschied zur ultraschallgestützten Applikation ist nicht zu erkennen ($p=0,9195$) (Abb. 29, Tab. 7).

Für das Kriterium D (Größe der Luftporen) wurden die besten Ergebnisse in der Gruppe „PI“ erzielt. Beim Vergleich zwischen PI und US erreicht PI die signifikant besseren Ergebnisse ($p=0,003$). Auch der Unterschied zwischen US und PS ist signifikant ($p=0,0075$) (Abb. 30, Tab. 7).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Applikation von Kalziumhydroxid in Gruppe 1 (Größe 25) am besten mithilfe eines Pastinject gelingt,

allerdings werden hierbei auch die meisten Überpressungen hervorgerufen. Auch die Ergebnisse in der Gruppe „Ultraschall“ sind signifikant besser als in der Gruppe „Papierspitze“.

5.2.3 Vergleich der Applikationstechniken in Gruppe 2 (Größe 35)

Kriterium A

(Vollständigkeit der Füllung)

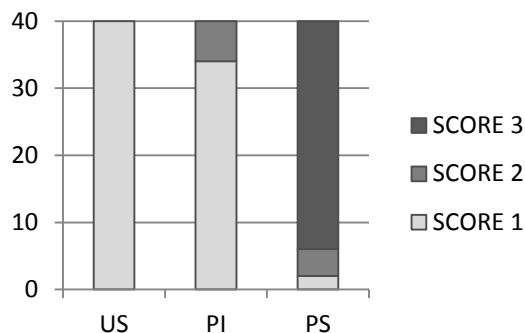


Abb. 31: Absoluteverteilung der Scores in Gruppe 2 (Größe 35) hinsichtlich des Kriteriums A „Vollständigkeit der Füllung“.

Score 1: > 2/3 des Kanals oder vollständig gefüllt
 Score 2: > 1/3 aber weniger als 2/3 des Kanals gefüllt
 Score 3: < oder gleich 1/3 des Kanals gefüllt
 Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
 PI = Pastinject
 PS = Papierspitze

Kriterium B

(Qualität der Füllung im apikalen Anteil)

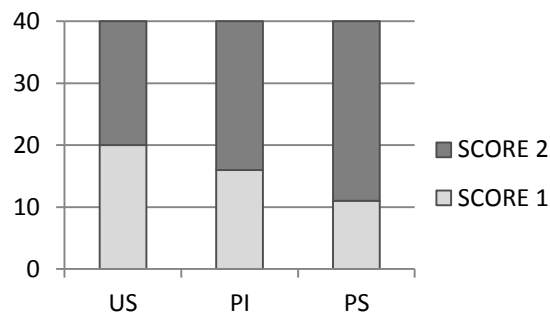


Abb. 32: Absoluteverteilung der Scores in Gruppe 2 (Größe 35) hinsichtlich des Kriteriums B „Qualität der Füllung im apikalen Anteil“.

Score 1: keine Lufteinschlüsse
 Score 2: Lufteinschlüsse
 Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
 PI = Pastinject
 PS = Papierspitze

Kriterium C

(Überpressung des Medikaments)

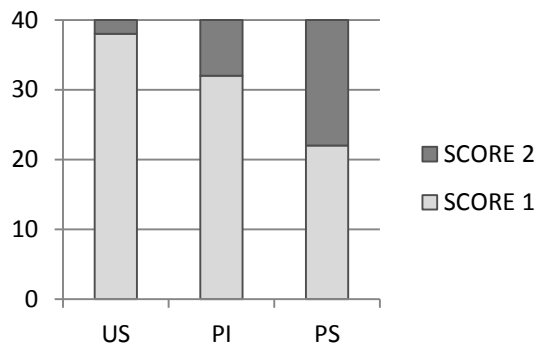


Abb. 33: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 2 (Größe 35) hinsichtlich des Kriteriums C „Überpressung des Ca(OH)₂ über die apikale Konstriktion“. Score 1 = nein
Score 2 = ja
Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
PI = Pastinject
PS = Papierspitze

Kriterium D

(Größe der Lufteinschlüsse)

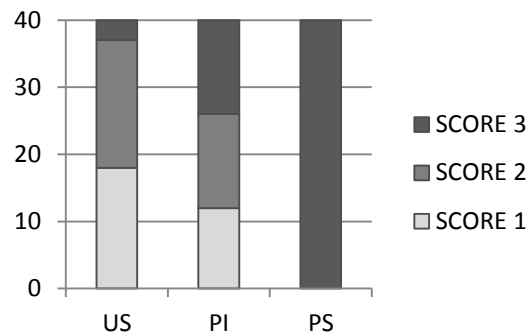


Abb. 34: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 2 (Größe 35) hinsichtlich des Kriteriums D „Größe der Lufteinschlüsse“. Score 1: < 1 mm
Score 2: 1-3 mm
Score 3: > 3 mm
Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
PI = Pastinject
PS = Papierspitze

Hieraus ergeben sich folgende p-Werte, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben:
Vergleichsgröße ISO 35, adjustierte p-Werte:

Vergleiche	Kriterium A (Vollständigkeit)	Kriterium B (Qualität der Füllung im apikalen Bereich)	Kriterium C (Überpressun g)	Kriterium D (Lufteinschlüsse)
PI vs. PS	0,0001	0,6882	0,1268	0,0001
PI vs. US	0,2558	0,7868	0,4656	0,0461
PS vs. US	0,0001	0,3043	0,0069	0,0001

Tab. 8: Adjustierte p-Werte bei einer Wurzelkanalpräparation bis zur apikalen ISO-Größe 35

Im Kriterium A (Vollständigkeit der Füllung) zeigen die Gruppen „US“ und „PI“ die besten Ergebnisse ($p=0,0001$). Beim Vergleich dieser beiden Applikationsmethoden ist kein signifikanter Unterschied zu ermitteln ($p=0,2558$). Die Applikation in der Gruppe „PS“ erzeugt signifikant schlechtere Ergebnisse als die beiden anderen Methoden ($p=0,0001$) (Abb. 31, Tab. 8).

Im Bewertungskriterium B (Qualität der Füllung im apikalen Anteil) konnte nur eine leichte Differenz in den vergebenen Scores ermittelt werden. Signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen sind nicht zu erkennen ($p>0,3$) (Abb. 32, Tab. 8). Die wenigsten Überpressungen traten bei der Applikation in der Gruppe „US“ auf, die meisten Überpressungen in der Gruppe „PS“ ($p=0,0069$). Der Unterschied zwischen „PI“ und „PS“ ist nicht signifikant ($p=0,1268$) (Abb. 33, Tab. 8).

Im Kriterium D, welches die Größe der bei der Applikation des Kalziumhydroxids entstandenen Lufteinschlüsse bewertet, werden die besten Ergebnisse in der Gruppe „US“ erreicht, die schlechtesten in der Gruppe „PS“. Die Ergebnisse unterscheiden sich signifikant ($p<0,0461$) (Abb. 34, Tab. 8).

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Anwendung von „Ultraschall“ in zwei von vier Bewertungskriterien (Kriterium C und D) die signifikant besten Ergebnisse erzielt. In den Kriterien A (Vollständigkeit der Füllung) und B (Qualität der Füllung im apikalen Anteil) sind die Unterschiede nicht signifikant. Daher kann die Methode „US“ über alle Kriterien als die überlegene Methode herausstellen.

5.2.4 Vergleich der Applikationstechniken in Gruppe 3 (Größe 45)

Kriterium A

(Vollständigkeit der Füllung)

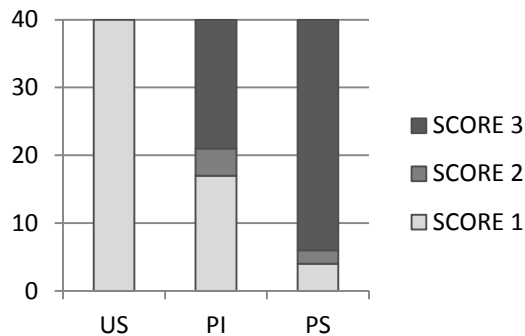


Abb. 35: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 3 (Größe 45) hinsichtlich des Kriteriums A „Vollständigkeit der Füllung“.

Score 1: > 2/3 des Kanals oder vollständig gefüllt

Score 2: > 1/3 aber weniger als 2/3 des Kanals gefüllt

Score 3: < oder gleich 1/3 des Kanals gefüllt

Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall

PI = Pastinject

PS = Papierspitze

Kriterium B

(Qualität der Füllung im apikalen Anteil)

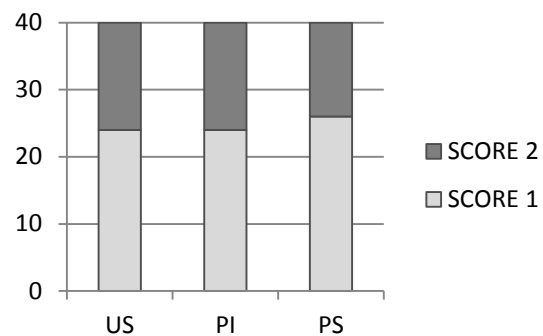


Abb. 36: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 3 (Größe 45) hinsichtlich des Kriteriums B „Qualität der Füllung im apikalen Anteil“.

Score 1: keine Lufteinschlüsse

Score 2: Lufteinschlüsse

Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall

PI = Pastinject

PS = Papierspitze

Kriterium C
(Überpressung des Medikaments)

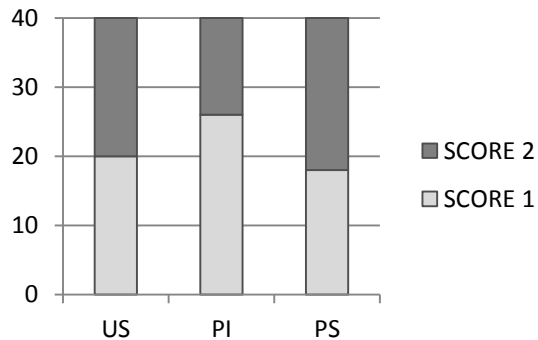


Abb. 37: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 3 (Größe 45) hinsichtlich des Kriteriums C „Überpressung des Ca(OH)₂ über die apikale Konstriktion“. Score 1 = nein
Score 2 = ja
Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
PI = Pastinject
PS = Papierspitze

Kriterium D
(Größe der Lufteingüsse)

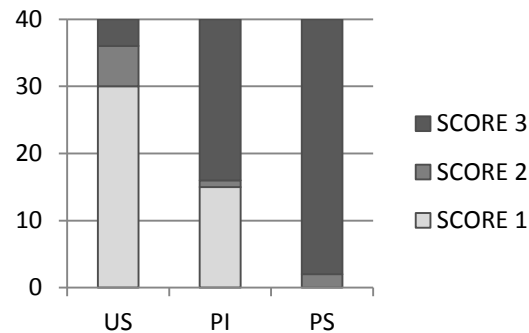


Abb. 38: Absolutverteilung der Scores in Gruppe 3 (Größe 45) hinsichtlich des Kriteriums D „Größe der Lufteingüsse“. Score 1: < 1 mm
Score 2: 1-3 mm
Score 3: > 3 mm
Die Bewertungen erfolgten von 2 Untersuchern an 20 Kunststoffkanälen (n = 40).

US = Ultraschall
PI = Pastinject
PS = Papierspitze

Hieraus ergeben sich folgende p-Werte, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben:
Vergleichsgröße 45, adjustierte p-Werte:

Vergleiche	Kriterium A (Vollständigkeit)	Kriterium B (Qualität der Füllung im apikalen Bereich)	Kriterium C (Überpressung)	Kriterium D (Luft-Einschlüsse)
PI vs. PS	0,0044	0,9461	0,4269	0,0041
PI vs. US	0,0001	1,0000	0,6172	0,0003
PS vs. US	0,0001	0,9461	0,9473	0,0001

Tab. 9: Adjustierte p-Werte bei einer Wurzelkanalpräparation bis zur Größe 45

Bei Bewertungskriterium A (Vollständigkeit der Füllung) werden die besten Ergebnisse mit der Applikationsmethode „Ultraschall“ erreicht. Es werden signifikant bessere Ergebnisse erreicht als mit der Applikation per Pastinject ($p=0,0001$). Die Applikation per Spritze und anschließender Kondensation mit Hilfe einer Papierspitze erreicht die schlechtesten Bewertungen ($p=0,0001$) (Abb. 35, Tab. 9).

In den Kriterien B (Qualität der Füllung im apikalen Anteil) sowie C (Überpressung der Kalziumhydroxidpaste über den Apex hinaus) erwies sich keine der Methoden als signifikant besser oder schlechter als eine der anderen Methoden (Abb. 36, 37, Tab.9) Im Kriterium D (Größe der Lufteinschlüsse) wiederum konnten signifikant unterschiedliche Ergebnisse ermittelt werden. So erreichte die Methode „Ultraschall“ die signifikant besten Ergebnisse vor der Applikation mithilfe des Pastinject ($p=0,0003$). Die Methode „Papierspitze“ erzielte die schlechtesten Ergebnisse ($p=0,0041$) (Abb. 38, Tab. 9).

5.3 Zusammenfassung

Nach Auswertung aller statistischen Daten ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Insgesamt war keine der untersuchten Applikationsmethoden eindeutig überlegen.
- In Gruppe 1 (Größe 25) wurden in 3 von 4 Bewertungskriterien die signifikant besten Scores mit der Applikationstechnik „Pastinject“ erreicht.
- In den Gruppen 2 und 3 (Größe 35 und 45) ist die Applikationsmethode „Ultraschall“ in 2 von 4 Bewertungskriterien signifikant besser als die anderen Methoden. In den anderen Bewertungskriterien zeigt sich keine Methode signifikant besser.
- In den Gruppen 2 und 3 (Größe 35 und 45) wurden durch den Einsatz eines ultraschallaktivierten Reamers signifikant weniger Hohlräume erzeugt. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Applikationsmethoden bei der Bewertung der Füllung der apikalen Bereiche festgestellt.

- In Gruppe 2 (Größe 35) wurden signifikant mehr Kanalbereiche mit den Applikationsmethoden US „Ultraschall“ und PI „Pastinject“ gefüllt als mit der Verdichtung durch eine Papierspitze.
- In Gruppe 3 (Größe 45) ist US „Ultraschall“ die signifikant erfolgreichste Applikationsform, bei der die meisten Kanalbereiche mit Ca(OH)₂ gefüllt werden.
- In den Gruppen 2 und 3 (Größe 35 und 45) unterscheidet sich keine Applikationsmethode signifikant von den anderen hinsichtlich der Qualität der Füllung im apikalen Bereich des Wurzelkanals.
- Die wenigsten Überpressungen werden in Gruppe 1 und 2 (Größe 25 und 35) durch den Einsatz von US „Ultraschall“ erreicht, in Gruppe 3 (Größe 45) ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Applikationsmethoden feststellbar.

Die folgende Tabelle 10 fasst die jeweils signifikant überlegenen Applikationsmethoden für die jeweiligen Bewertungskriterien und Präparationsgrößen zusammen.

Größe	Bewertungskriterium			
	A Vollständigkeit der Füllung	B Qualität der Füllung im apikalen Anteil	C Überpressung der Kalziumhydroxidpaste über die apikale Konstriktion	D Größe der Luft- einschlüsse
25	PI	PI	PS/US	PI
35	US/PI	US/PS/PI	US	US
45	US	US/PS/PI	US/PS/PI	US

Tab. 10: Übersicht über alle Bewertungskriterien und die in den jeweiligen Untersuchungsgruppen überlegenen Applikationsmethoden. Bei zwei oder mehr Applikationsmethoden ist kein signifikanter Unterschied feststellbar.

PI: Pastinject

US: Ultraschall

PS: Papierspitze

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Methode

Der Aufbau der Studie ist im Wesentlichen an die Versuchsanordnung von Torres et al. (2004) angelehnt. In fünf weiteren Studien wurde mit dieser oder abgewandelten Versuchsanordnungen bereits untersucht, wie effektiv einzelne Methoden zur Applikation von Kalziumhydroxid in Wurzelkanäle sind (Sigurdsson et al. 1992, Rivera & Williams 1994, Staehle et al. 1997, Braun & Nolden 1999, Deveaux et al. 2000). Im Folgenden sollen die Unterschiede der vier vorausgegangenen Studien kurz dargestellt werden:

Im Gegensatz zum vorliegenden Versuchsdesign wurden in der Studie von Sigurdsson extrahierte Zähne verwendet, womit eine Standardisierung der Wurzelkanäle nicht stattfinden kann (Sigurdsson et al. 1992). In den Versuchsaufbauten mit künstlichen Wurzelkanälen wurde das apikale Foramen verschlossen (Torres et al. 2004) oder durchgängig gestaltet (Rivera und Williams 1994, Staehle et al. 1997, Deveaux et al. 2004), wodurch die klinische Situation nicht ausreichend simuliert werden kann. Ein natürlicher Wurzelkanal weist immer ein durchgängiges apikales Foramen auf, das jedoch nicht völlig barrierefrei durch Spülflüssigkeiten oder Wurzelfüllpasten überwunden werden kann, da auf den Zahn in seiner Alveole ein apikaler Gewebedruck ausgeübt wird. Um eine möglichst gute Standardisierung der Proben zu erzielen, wurden in der vorliegenden Arbeit, ebenso wie bei Rivera & Williams (1994), Braun & Nolden (1999) und Torres et al. (2004), ausschließlich künstliche Wurzelkanäle verwendet, die entsprechend einer festgelegten Präparationssequenz erweitert wurden. Hierdurch sollte gewährleistet werden, dass alle zu vergleichenden Wurzelkanäle das gleiche Volumen und die gleiche Form sowie die gleiche Wandbeschaffenheit aufwiesen.

Aufgrund unterschiedlicher Versuchsbedingungen sind die Ergebnisse vorangegangener Studien kontrovers und ein Vergleich untereinander ist nur schwer möglich.

Sigurdsson et al. (1992) führten eine Studie mit extrahierten Oberkiefermolaren durch, an denen zwei Wurzeln reseziert und lediglich die mesio-bukkale Wurzel belassen wurde. Diese Wurzel wurde manuell mit Hilfe von K-Feilen auf ISO-Größe 25 präpariert. Es wurde die Applikation von Ca(OH)_2 mittels einer Spritze mit einer Kanüle mit einem Außendurchmesser von 0,8 mm, eines Lentulos ISO-Größe 25 und

einer K-Feile der ISO-Größe 25 untersucht. Da die verwendeten Wurzelkanäle nur bis zu einer Größe von ISO 25 präpariert wurden, konnte nicht untersucht werden, inwiefern sich Unterschiede zu anderen Präparationsdurchmessern ergeben.

In der Studie von Rivera & Williams (1994) wurden standardisierte Kunststoffkanäle mit einer Krümmung von 44° und einer Apikalpräparation bis zur Größe 25 verwendet. Die simulierten Wurzelkanäle wurden apikal nicht verschlossen, so dass eine Extrusion des Kalziumhydroxids barrierefrei möglich war. Das Hauptaugenmerk in dieser Studie lag auf der Untersuchung der unterschiedlichen Zubereitungen des Kalziumhydroxids mit Wasser und Glycerin als Trägersubstanz. Unterschiedliche Präparationsdurchmesser oder Applikationsmethoden wurden nicht berücksichtigt.

In der Untersuchung von Staehle et al. (1997) wurden extrahierte obere Eck- und Schneidezähne mit geraden oder sehr leicht gekrümmten Wurzelkanälen mit Hilfe verschiedener Techniken mit Kalziumhydroxid gefüllt. Alle Kanäle wurden vorher auf die Größe ISO 50 präpariert.

Braun & Nolden (1999) untersuchten die Applikation von Ca(OH)_2 in 860 normierten, geraden Kunststoffkanälen verschiedener ISO-Größen von 15-40, welche apikal verschlossen waren.

Das Einbringen einer Kalziumhydroxideinlage mit fünf verschiedenen Techniken, darunter die anschließende Aktivierung mit Schall- und Ultraschallgeräten, wurde von Deveaux et al. (2000) untersucht. Die verwendeten extrahierten einwurzeligen Oberkieferprämolaren wiesen keine bis schwache Kanalkrümmungen auf und wurden bis auf ISO-Größe 25 mit Hilfe von Handinstrumenten und mit Hilfe eines maschinellen Systems (Giromatic, MicroMega, Besançon, Frankreich) präpariert.

Torres et al. (2004) verwendeten gekrümmte Kunststoffkanäle mit einem Krümmungswinkel von 44°, um drei verschiedene Applikationsmethoden zu vergleichen. Dabei wurden eine Injektionstechnik, ein rotierendes System und die Kombination aus beiden Systemen miteinander verglichen. Hierbei wurde die Injektion des Kalziumhydroxidpräparats mittels einer speziellen Polypropylenkanüle mit einem Außendurchmesser von 0,36 mm (Ultradent Products, South Jordan, Utah, USA) durchgeführt. Bei dem rotierenden System handelte es sich um eine Lentulo-Förderspirale der ISO-Größe 35, welche mit einem langsam laufenden Handstück (Trend LS WD-56 1:1, A-dec/W&H, Newberg, Oregon, USA) angetrieben und mehrfach auf Arbeitslänge in den Kanal eingeführt wurde. Die apikalen Foramina

wurden mit Klebeband verschlossen, so dass ein Überpressen von Ca(OH)_2 nicht möglich war.

Im vorliegenden Studiendesign wurden Aspekte aus den genannten Studien berücksichtigt und vereint. Es wurden 180 künstliche Wurzelkanäle verwendet, um Variationen in der Anatomie des Wurzelkanalsystems auszuschließen und ein hohes Maß an Standardisierung zu erreichen. Die Oberflächenspannung des Dentins in natürlichen Zähnen konnte jedoch nicht simuliert werden (Haapasalo et al. 2000). Die Präparation erfolgte mit Hilfe eines maschinellen Nickel-Titan-Systems auf drei verschiedene Größen 25, 35 und 45. Rotierende Nickel-Titan-Instrumente ermöglichen die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle und minimieren Komplikationen wie z. B. *via falsa*, Stufenbildungen, Perforationen, „apical zipping“ und Instrumentenfrakturen (Short et al. 1997, Peters OA et al. 2004).

Verglichen wurde eine Präparationsgröße 25, welche eine Situation bei einer Notfallbehandlung simuliert, in der häufig aus zeitlichen Gründen keine vollständige Wurzelkanalpräparation stattfinden kann und in der gerade daher das Einbringen einer medikamentösen Einlage von großer Wichtigkeit ist (Sigurdsson et al. 1992). Das FlexMaster-Instrument der Größe 45 entspricht einer großen Apikalpräparation in einem gekrümmten Wurzelkanal. In diesem Versuchsaufbau wurde das apikale Foramen weder verschlossen noch vollständig gängig gehalten. So stellte sich in Vorversuchen heraus, dass ein Verschluss des apikalen Foramens mit einem Silikonstopfen, der zusätzlich durch Klebeband gesichert war, als probates Mittel zur Simulation des *in vivo* vorliegenden apikalen Gewebedruckes geeignet ist, da Überpressungen zwar möglich waren, jedoch nicht in jedem Fall auftraten. Ob dieses Vorgehen tatsächlich geeignet ist, um den apikalen Gewebedruck unter klinischen Bedingungen zu simulieren, bleibt ungeklärt und sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

In anderen vergleichbaren Studien wurden die apikalen Foramina entweder mit Klebeband dicht verschlossen, so dass eine Extrusion des Ca(OH)_2 in keinem Fall möglich war (Torres et al. 2004), oder offen gelassen, so dass eine Extrusion barrierefrei möglich war (Rivera & Williams 1994).

Bei dem vorliegenden Versuchsaufbau wurden künstliche Wurzelkanäle aus Polymethylmethacrylat verwendet, was zum einen eine weitestgehende Standardisierung erlaubt, zum anderen jedoch auch einige Nachteile mit sich bringt. So ist z. B. nicht bekannt, inwiefern sich eine unterschiedliche

Oberflächenbeschaffenheit des verwendeten Kunststoffes im Vergleich zu natürlichem Wurzelkanalentin auf das Fließverhalten des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Präparats auswirkt. Es kann davon ausgegangen werden, dass der verwendete Kunststoff, welcher naturgemäß hydrophobe Eigenschaften besitzt, eine Benetzung der Oberfläche erschwert. Zum anderen kann durch die künstlichen Wurzelkanäle nicht die komplexe Anatomie des endodontischen Systems nachgebildet werden, sondern lediglich eine idealisierte Präparationsform. *In vivo* liegt nur in wenigen Fällen ein über den gesamten Kanalverlauf runder Wurzelkanalquerschnitt vor. Die häufigsten Querschnittsformen sind oval oder nierenförmig (Carrotte 2004). Die mechanisch mit einer runden Feile nicht vollständig zu präparierenden Bereiche natürlich vorkommender ovaler Wurzelkanäle können nicht simuliert werden, welche besonders schwer mechanisch zu reinigen sind. Ovale Kanalquerschnitte sind sehr häufig in den apikalen 5 mm des Wurzelkanals aufzufinden und mechanisch ohne die Gefahr von Perforationen oder zumindest aber einer Schwächung der Zahnwurzel nicht vollständig zu präparieren (Lee SJ et al. 2004).

In der vorliegenden Studie wurden drei verschiedene Techniken zur Applikation einer Kalziumhydroxidpaste in Wurzelkanäle miteinander verglichen. In alle Proben wurde mit der Hypocal-Applikationsspritze (Merz Dental GmbH, Lütjenburg) (Außendurchmesser der Kanüle 0,9 mm) Kalziumhydroxidpaste in den Kanal gepresst. Damit wurden die Erkenntnisse von Staehle et al. (1997) aufgenommen, dass mit Hilfe der Injektionstechnik das Einbringen von Kalziumhydroxid in ausreichender Tiefe und guter Qualität möglich ist. Anschließend wurde die Kalziumhydroxidfüllung durch vertikale Kompaktion durch eine auf die Wurzelkanalgröße abgestimmte Papierspitze verdichtet. Dieses Vorgehen wurde dreimal wiederholt. Abschließend wurde mit einem Wattepellet die Füllung von koronal verdichtet. Braun & Nolden (1999) stellten fest, dass die Qualität durch diese Maßnahme verbessert werden kann. Die zweite Applikationstechnik bestand in der Injektion mit der Hypocal-Applikationsspritze und der anschließenden Verdichtung mit einem Pasting-Instrument (MicroMega, Besançon, Frankreich), das in der Studie von Deveaux et al. (2000) die besten Ergebnisse erzielte. In derselben Studie wurde auch die Applikation mittels schall- und ultraschallaktivierter Instrumente untersucht, welche allerdings weniger gute Ergebnisse erzielen konnten. Die in der Studie von Deveaux et al. (2000) durchgeführten Messungen des

Schwärzungsgrades der Röntgenfilme legen nahe, dass bei der Applikation mittels Ultraschall das Kalziumhydroxid eher auseinander reißt und versprengt wird.

Aufgrund der guten Ergebnisse der Ultraschallanwendung zur Verteilung von Wurzelkanalsealer (West et al. 1989, Wiemann & Wilcox 1991), wurde diese Technik in der vorliegenden Arbeit auf die Eignung hinsichtlich der Verdichtung einer Kalziumhydroxidpaste untersucht. Zunächst wurde mit der Hypocal-Applikationsspritze $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in den Wurzelkanal eingebracht und anschließend mit einem entsprechend der Kanalkrümmung vorgebogenem Wurzelkanalinstrument aktiviert.

Die Bewertung der Röntgenaufnahmen erfolgte mit Hilfe eines Scoresystems, das bereits von Staehle et al. (1997) verwendet wurde. Das Scoresystem wurde geringfügig modifiziert und beinhaltet vier Bewertungskriterien, wobei besondere Aufmerksamkeit auf den apikalen Anteil der Wurzelkanäle gelegt wurde. Der apikale Anteil eines Wurzelkanals ist der am schwierigsten zu reinigende und zu desinfizierende Bereich. Es ist daher von großer Bedeutung, dass eine medikamentöse Einlage besonders im apikalen Wurzelkanaldrittel eine optimale Wirkung entfalten kann. Auch Dumsha & Gutmann (1985) bemerkten, dass Kalziumhydroxid den Wurzelkanal vollständig und dicht ausfüllen sollte, um ein Wirkungsoptimum zu erreichen.

Nachteil eines Scoresystems ist immer der Einfluss der subjektiven Wahrnehmung des Untersuchers auf das Ergebnis. Um diesen Faktor möglichst zu minimieren, wurde vor der Hauptuntersuchung eine gründliche Kalibrierung der Untersucher vorgenommen. Beim Testen der Faktoren „Applikationsmethode“ und „Reader“ traten keine signifikanten Einzeleffekte des „Readers“ auf das Ergebnis. Signifikante Einzeleffekte der „Reader“ auf das Ergebnis hätten bedeutet, dass die Untersucher („Reader“) die einzelnen Proben stets unterschiedlich bewertet haben. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Untersucher die einzelnen Proben teils unterschiedlich bewerteten, jedoch keinen systematischen Einfluss auf das Ergebnis nahmen.

In der vorliegenden Studie wurden die künstlichen Wurzelkanäle alle unter Laborbedingungen präpariert, gereinigt und anschließend mit der Kalziumhydroxidpaste befüllt. Alle künstlichen Wurzelkanäle wiesen eine Krümmung von 44° auf. Solche starken Wurzelkanalkrümmungen treten in der Regel nur im Molarenbereich auf. Eventuelle Schwierigkeiten bei der Applikation der

Kalziumhydroxidpaste durch einen möglicherweise beengten Zugang *in vivo* konnten so nicht simuliert werden. In einer zukünftigen Studie könnte man die Prüfkörper in einem Phantomkopf mit Gesichtsmaske, wie er auch für die Ausbildung der Zahnmedizinstudenten im klinischen Abschnitt verwendet wird, platzieren, um dann bei der Applikation des Kalziumhydroxids annähernd klinische Bedingungen zu schaffen. Des Weiteren gab es unter den Laborbedingungen der vorliegenden Studie keine Zugangskavität zu den Wurzelkanälen. Der Wurzelkanaleingang lag vielmehr frei zugänglich an der Oberfläche des Kunststoffprüfkörpers, was nicht der Situation einer Wurzelkanalbehandlung *in vivo* entspricht, bei der eine korrekte Applikation des Medikaments sicherlich schwieriger ist.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Auswertung zeigt, dass sich keine Applikationsmethode bei allen Präparationsgrößen und in allen Bewertungskriterien als überlegen erweist.

Gruppe 1 (Größe 25):

In dieser Gruppe zeigte sich eine signifikante Überlegenheit des Pastinject gegenüber den anderen beiden Applikationsmethoden ($p < 0,0033$). Lediglich im Bewertungskriterium C (Extrusion von Kalziumhydroxid über den Apex hinaus) werden schlechtere Ergebnisse erreicht und es finden signifikant mehr Überpressungen statt ($p < 0,0224$). Eine Ursache hierfür kann in der Funktion des Pastinject als Archimedische Schraube oder „Schneckenförderer“ vermutet werden (Deveaux et al. 2000). Die abgeflachten Förderschaukeln bewirken möglicherweise durch die Friktion der Kalziumhydroxidpaste mit der Wurzelkanalwand einen apikal gerichteten Druckaufbau. Ähnliche Beobachtungen machten auch verschiedene andere Autoren (Sigurdsson et al. 1992, Deveaux et al. 2000). In der Untersuchung von Sigurdsson et al. (1992), in der nur die Präparationsgröße ISO 25 untersucht wurde, war die Applikation per Lentulo signifikant erfolgreicher als die Applikation per Spritze. Auch Deveaux et al. (2000) untersuchten in ihrer Studie Wurzelkanäle mit der Präparationsgröße ISO 25. Sie stellten fest, dass die Applikation per Pastinject die besten Ergebnisse erzielt. In der Studie von Deveaux et al. (2000) wurde ebenfalls die Applikation per Schall- und Ultraschallgeräten untersucht. Es zeigten sich signifikant schlechtere Ergebnisse im Vergleich zu Pastinject und Lentulo. Die

Autoren vermuteten, dass der Einsatz von ultraschallaktivierten Feilen zur Verteilung der Kalziumhydroxidpaste eher die eingebrachte Paste versprengt als sie zu verdichten (Deveaux et al. 2000). Eine weitere Erklärung hierfür könnte auch die bei der Ultraschallanwendung entstehende Hitze sein, die während der Anwendung der Kalziumhydroxidpaste die Feuchtigkeit entzieht und somit feste Kalziumhydroxidpartikel an der Feile haften lässt, welche dann zusammen mit der Feile wieder aus dem Wurzelkanal entfernt werden. Zeltner et al. (2009) stellten in ihrer Studie fest, dass sich eine Natriumhypochloritlösung innerhalb eines Wurzelkanals trotz einer Spülrate von 55 ml/min um einige Grad Celsius während der Ultraschallaktivierung erwärmt. Da die Kalziumhydroxidpaste nicht ständig umgewälzt und ausgetauscht wird, kann man darauf schließen, dass trotz der kurzen Aktivierungszeit von 5 Sekunden bei einer Leistungseinstellung von 30% eine Temperaturerhöhung stattfand.

Gruppe 2 und 3 (Größen 35 und 45):

In Gruppe 3 (Größe 45) erzielte die Applikation per Ultraschall die signifikant überlegenen Ergebnisse in den Kriterien A (Vollständigkeit der Füllung) und D (Größe der Lufteinschlüsse). Eine mögliche Erklärung hierfür ist vermutlich eine bessere Kompensation der durch die Ultraschallaktivierung erzeugten Wärmeenergie durch die in diesen weitlumigen Kanälen vorliegende, größere Menge an Kalziumhydroxidpaste. Es ist auch möglich, dass die für die Ultraschallaktivierung verwendete Nadel mit der ISO-Größe 15 relativ zur Präparationsgröße weniger Raum fordert und somit für eine bessere Verteilung der Paste im Wurzelkanal sorgt. Bei den Bewertungskriterien B (Qualität der Füllung im apikalen Anteil) und C (Extrusion von Kalziumhydroxid) konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der verschiedenen Applikationstechniken festgestellt werden. Die Gründe hierfür bleiben unklar.

Die Extrusion von Kalziumhydroxid aus dem apikalen Foramen wurde bislang in keiner bekannten Studie untersucht.

Daher können folgende abschließende Aussagen getroffen werden:

- In kleinvolumigen Wurzelkanälen der Größe 25 (Gruppe 1) lieferte die Applikation mittels Pastinject die besten Ergebnisse; es sollte jedoch bei

Anwendung dieser Technik darauf geachtet werden, dass immer die Gefahr einer Extrusion von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ besteht.

- In Wurzelkanälen mit größeren Präparationsdurchmessern der Größen 35 oder 45 (Gruppe 2 und 3) erreichte die Applikation mit Hilfe von Ultraschall für zwei Bewertungskriterien signifikante bessere Ergebnisse. Bei den übrigen Bewertungskriterien kann kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Applikationsmethoden festgestellt werden, d. h. dass alle Methoden in diesen Kriterien etwa gleichwertige Ergebnisse lieferten. Daher ist die Anwendung der Ultraschalltechnik bei Wurzelkanälen der Größe 35 und 45 den anderen Techniken vorzuziehen.

7. Schlussfolgerungen

1. Keine Applikationsmethode ist in der Lage, eine vollständige Füllung der standardisierten Wurzelkanäle unabhängig von der Präparationsgröße zu erzielen.
2. Bei einer Präparationsgröße von 25 werden die besten Ergebnisse bei der Applikation mittels Pastinject erreicht.
3. Bei den Präparationsgrößen 35 und 45 werden die besten Ergebnisse mit Hilfe eines ultraschallaktivierten Reamers erzielt.
4. Die geringste Extrusion von Kalziumhydroxid wurde in den Größen 25 und 35 durch den Einsatz von ultraschallaktivierten Instrumenten erreicht, bei der Größe 45 war kein signifikanter Unterschied feststellbar.
5. Die Extrusion von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kann bei keiner der untersuchten Applikationsmethoden vollständig verhindert werden.

8. Zusammenfassung

Ziel der Studie: Das Ziel der Studie war es, verschiedene Methoden auf ihre Effektivität zur Applikation von Kalziumhydroxid in gekrümmte Wurzelkanäle zu untersuchen.

Material und Methode: 180 künstliche Wurzelkanäle aus Kunststoff mit rundem Wurzelquerschnitt wurden mit dem maschinellen Nickel-Titan-System FlexMaster nach einer standardisierten Präparationssequenz auf die Größen 25, 35 und 45 präpariert. Die Arbeitslänge betrug bei allen Proben 17,5 mm und die apikale Gängigkeit wurde bei allen Proben durch den Einsatz eines Reamers der ISO-Größe 10 verifiziert. Im Anschluss wurden die Proben randomisiert und verblindet in neun Gruppen aufgeteilt und die Wurzelkanäle mit drei verschiedenen Applikationsmethoden mit Hypocal, einem Kalziumhydroxidpräparat, gefüllt. In allen Gruppen wurde zunächst das Kalziumhydroxidpräparat mit der mitgelieferten Applikationskanüle injiziert und dann durch drei verschiedene Verfahren verdichtet. In Gruppe 1 (Größe 25) wurde das Medikament per Ultraschall, (Untergruppe „US“) verdichtet, es erfolgte die Kondensation durch den Einsatz des Pastinject (Untergruppe „PI“) oder mit Hilfe einer Papierspitze (Untergruppe „PS“) kondensiert. Alle Wurzelkanäle in Gruppe 1 entsprachen der Größe 25. Das gleiche Verfahren erfolgte in den Gruppen 2 und 3, welche bis zu einer Apikalgröße von 35 bzw. 45 präpariert waren. Die Proben wurden in eine Röntgenhalterung gespannt, geröntgt und mit einem Scoresystem ausgewertet. Die Ergebnisse der Versuche wurden mit einem nichtparametrischen Rangverfahren für longitudinale Daten in faktoriellen Anlagen mit den Faktoren Applikation, Reader und Reader x Applikation ausgewertet. Weiterhin wurden Paarvergleiche durchgeführt und das multiple Niveau nach Tukey adjustiert.

Ergebnisse: Keine Applikationsmethode ist in der Lage, eine vollständige Füllung der standardisierten Wurzelkanäle unabhängig von der Präparationsgröße zu erzielen. In der Gruppe 1 (Größe 25) werden die besten Ergebnisse mit einem Pastinject erreicht. In den Gruppen 2 und 3 (Größe 35 und 45) traten die besten Ergebnisse bei Verwendung eines ultraschallaktivierten Reamers auf. Die geringste Extrusion von Kalziumhydroxid wurde in den Größen 25 und 35 durch den Einsatz von ultraschallaktivierten Instrumenten erreicht, bei der Größe 45 war kein signifikanter

Unterschied feststellbar. Die Extrusion von Ca(OH)_2 kann bei keiner der untersuchten Applikationsmethoden vollständig verhindert werden.

Schlussfolgerung: In Wurzelkanälen mit kleinem Präparationsdurchmesser von 25 liefert die Applikation von Kalziumhydroxid mittels Pastinject die besten Ergebnisse, bei apikalen Präparationsgrößen von 35 und 45 werden die besten Ergebnisse mit Hilfe einer Ultraschallaktivierung erzielt.

9. Literaturverzeichnis

Abbott PV, Heithersay GS, Hume WR (1988):

Release and diffusion through human tooth roots in vitro of corticosteroid and tetracycline trace molecules from Ledermix paste.

Endod Dent Traumatol 4, 55-62

Accorinte MLR, Holland R, Reis A, Bortoluzzi MC, Murata SS, Dezan Jr. E. Souza V, Alessandro LD (2008):

Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth.

J Endod 34, 1-6

Ahlgren FK, Johannessen AC, Hellem S. (2003):

Displaced calcium hydroxide paste causing inferior alveolar nerve paraesthesia: report of a case.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96, 734-737

Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA. (1987):

Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role.

J Endod 13, 490-499

Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. (1988):

Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance.

J Endod 14, 486-493

Ahmad M, Roy RA, Kamarudin AG. (1992):

Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file.

Endod Dent Traumatol 8, 189-194

Aibel K, Stevens R (1999):

Effect of chlorhexidine on IL-6 induction by LPS.

J Endod 25, 282

Alacam T, Gorgul G, Omurlu H. (1990):

Evaluation of diagnostic radiopaque contrast materials used with calcium hydroxide.

J Endod 16, 365–368

Alberto C, de Souza S, Teles RP, Souto R, Chavez MA, Colombo AP (2005):

Endodontic therapy associated with calcium hydroxide as an intracanal dressing: microbiologic evaluation by the checkerboard DNA-DNA hybridization technique.

J Endod 31, 79-83

Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM (1992):

In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite.

Endod Dent Traumatol 4, 241-252

Ando N, Hoshino E (1990):

Predominant obligate anaerobes invading the deep layers of root canal dentine.

Int Endod J 23, 20-27

Ardeshtna SM, Qualtrough AJ, Worthington HV (2002):

An in vitro comparison of pH changes in root dentine following canal dressing with calcium hydroxide points and a conventional calcium hydroxide paste.

Int Endod J 35, 239-244.

Ari H, Erdemir A (2005):

Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique.

J Endod 31, 187-189

Athanassiadis B, Abbott PV, Walsh LJ (2007):

The use of calcium hydroxide, antibiotics and biocides as antimicrobial medicaments in endodontics.

Aust Dent J 52, 64-82

Attin T, Hellwig E (1993):

Erfolgsaussichten der direkten Pulpaüberkappung bei Zähnen mit Caries profunda.

Quintessenz 44, 1613-1622

Barthel CR, Levin LG, Reisner HM, Trope M (1997):

TNF-alpha release in monocytes after exposure to calcium hydroxide treated Escherichia coli LPS.

Int Endod J 30, 155-159

Barthel CR, Zaritzki FF, Raab WH, Zimmer S (2006):

Bacterial leakage in root filled with different medicaments and sealed with Cavit.

J Endod 32, 127-129

Barthel-Zimmer CR:

Untersuchungen zur Keimreduktion im Wurzelkanal

Med. Habil. Berlin 2001

Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD (1984):

A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid.

J Endod 10, 525-531

Berkiten M, Okar I, Berkiten R (2000):

In vitro study of the penetration of Streptococcus sanguis and Prevotella intermedia strains into human dentinal tubules.

J Endod 26, 236-239

Biggs JT, Benenati FW, Sabala CL (1988):

Treatment of iatrogenic root perforations with associated osseous lesions.

J Endod 14, 620-624

Brandt M, Stiefel A, Schaller HG (2001):

Wirkungen von Spüllösungen für die endodontische Behandlung.

Zahnärztl Welt/Reform 110, 74-77

Braun A, Nolden R (1999):

Applikation eines Kalziumhydroxid-Pastenpräparates in ISO-Genormte Kanallumina.

Dtsch Zahnärztl Z 54, 258-261

Brunner, E, Domhof S, Langer F:

Nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments.

Wiley, New York/USA 2002, S. 130-143

Byström A, Sundqvist G (1981):

Bacteriologic evaluation of the efficiency of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy.

Scand J Dent Res 89, 321-328

Byström A, Sundqvist G (1985):

The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy.

Int Endod J 18, 35-49

Çalt S, Serper A (2002):

Time-dependent effects of EDTA on dentin structures.

J Endod 28, 17-19

Carrotte P (2004):

Endodontics: Part 9

Calcium hydroxide, root resorption, endo-perio lesions.

Br Dent J 197, 735-743

Crane AB:

A predictable root canal technique.

Lea & Febiger, Philadelphia, Pennsylvania/USA 1920, S. 69

Cruse WP, Bellizzi R (1980):

A historic review of endodontics, 1689 – 1963, part 1.

J Endod 6, 495-499

Cvek M, Sundström B (1974):

Treatment of non-vital permanent incisors with calcium hydroxide. V. Histologic appearance of roentgenographically demonstrable apical closure of immature roots. *Odontol Revy* 25, 379-391

Dakin HD (1915):

On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds
Br Med J 2, 318-320

Dammaschke T (1999):

Natriumhypochlorit - eine Übersicht.
Endodontie 7, 9-19

Davies RM, Schiott CR, Loe H (1973):

Streptococci isolated from plaque in subjects rinsing with chlorhexidine.
Arch Oral Biol 18, 297-299

De Bruyne MA, De Moor RJ, Raes FM (2000):

Necrosis of the gingiva caused by calcium hydroxide: a case report.
Int Endod J 33, 67-71

De-Deus G, Reis C, Fidel S, Fidel RAS, Paciornik S (2008):

Longitudinal and quantitative evaluation of dentin demineralization when subjected to EDTA, EDTAC, and citric acid: a co-site digital optical microscopy study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 105, 391-397

De Moor RJG, De Witte AMJ (2002):

Periapical lesions accidentally filled with calcium hydroxide.
Int Endod J 35, 946-958

De Souza CA, Teles RP, Souto R, Chaves MA, Colombo AP (2005):

Endodontic therapy associated with calcium hydroxide as an intracanal dressing: microbiologic evaluation by the checkerboard DNA-DNA hybridization technique.
J Endod 31, 79-83

Deveaux E, Dufour D, Boniface B (2000):

Five methods of calcium hydroxide intracanal placement: an in vitro evaluation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 349-355

DGZMK (Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und der DGZMK) (2006):

„Good clinical practice“: Die Wurzelkanalbehandlung

Endodontie 15, 195-199

Dumsha TC, Gutmann JL (1985):

Clinical techniques for the placement of calcium hydroxide.

Compend Contin Educ Dent 6, 482-9

Dynes JJ, Lawrence JR, Korber KR, Swerhone GD, Leppard GG, Hitchcock AP (2006):

Quantitative mapping of chlorhexidine in natural river biofilms.

Sci Total Environ 369, 369-386

Ehrmann EH (1965):

The effect of triamcinolone with tetracycline on the dental pulp and apical periodontium.

J Prosthet Dent 15, 144-152

Emilson CG (1977):

Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine.

Scand J Dent Res 85, 255-265

ESE (2006):

Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology.

Int Endod J 39, 921-930

Estrela C, Sydney GB, Bammann LL, Felipe O Jr (1995):
Mechanism of action of calcium and hydroxyl ions of calcium hydroxide on tissue and bacteria.

Braz Dent J 6, 85-90

Evanov C, Liewehr F, Buxton TB, Joyce AP (2004):
Antibacterial efficacy of calcium hydroxide and chlorhexidine gluconate irrigants at 37 degrees C and 46 degrees C.

J Endod 30, 653-657

Evans MD, Baumgartner JC, Khemaleelakul SU, Xia T (2003):
Efficacy of calcium hydroxide: Chlorhexidine paste as an intracanal medication in bovine dentin.

J Endod 29, 338-339

Fava LR, Saunders WP (1999):
Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications.

Int Endod J 32, 257-282

Fachinformation Ledermix Paste, Riemser Arzneimittel AG

FachInfo Service

www.fachinfo.de, Seitenabruf: 14.02.2011

Ferguson JW, Sarich SJ, Hatton JF, Gillespie MJ (2000):
Efficacy of common intracanal medicaments against candida albicans.

J Dent Res 79, 668 (Spec. Issue, Abstr. 3400)

Fernandes AM, Silva GAB, Lopes Jr. N, Napimoga MH, Benatti BB, Alves JB, Horizonte B, Gerais UM (2008):

Direct capping of human pulps with a dentin bonding system and calcium hydroxide: an immunohistochemical analysis.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 105, 385-390

Foreman PC, Barnes IE (1990):

Review of calcium hydroxide.

Int Endod J 23, 283-297

Foulkes DM (1973):

Some toxicological observations on chlorhexidine.

J Periodontal Res Suppl 12, 55-60

González-López S, Camejo-Aguilar D, Sanchez-Sanchez P, Bolaños-Carmona V (2006):

Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA.

J Endod 32, 781-784

Haapasalo M, Ørstavik D (1987):

In vitro infection and disinfection of dentinal tubules.

J Dent Res 66, 1375-1379

Haapasalo HK, Siren EK, Waltimo TK, Ørstavik D, Haapasalo M (2000):

Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study.

J Endod 28, 126-131

Haenni S, Schmidlin PR, Mueller B, Sener B, Zehnder M (2003):

Chemical and antimicrobial properties of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions.

Int Endod J 36, 100-105

Halliwell B (1987):

Oxidants and human disease: some new concepts.

FASEB J 1, 358-64

Hancock HH 3rd, Sigurdsson A, Trope M, Moiseiwitsch J (2001):
Bacteria isolated after unsuccessful endodontic treatment in a North American population.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 91, 579-86.

Hargreaves K, Abbott PV (2005):
Drugs for pain management in dentistry.
Aust Dent J 50 (Suppl 2), 14-22

Hasselgren G, Olsson B, Cvek M (1988):
Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue.
J Endod 14, 125-127

Heling I, Steinberg D, Kenig S, Gavrilovich I, Sela MN, Friedman M (1992):
Efficacy of a sustained-release device containing chlorhexidine and Ca(OH)₂ in preventing secondary infection of dentinal tubules.
Int Endod J 25, 20-24.

Hellwig E, Klimek J, Attin T:
Einführung in die Zahnerhaltung
Urban & Fischer, München 2007, S. 314-315

Hennessey TS (1973):
Some antibacterial properties of chlorhexidine.
J Periodontal Res 12 (Suppl.) 61-67

Heppeler J, Hülsmann M (2006):
Enterococcus faecalis - ein Problemkeim.
Endodontie 15, 137-144

Herrmann BW:
Kalziumhydroxid als Mittel zum Behandeln und Füllen von Wurzelkanälen
Med. Diss. Würzburg 1920

Holland R, Souza V, Nery MJ, Mello W, Bernabe PF (1979):

A histological study of the effect of calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth of dogs.

J Br Endod Soc 12, 15-23

Hugo WB, Longworth AR (1966):

The effect of chlorhexidine on the electrophoretic mobility, cytoplasmic constituents, dehydrogenase activity and cell walls of Escherichia coli and Staphylococcus aureus.

J Pharm Pharmacol 18, 569-578

Hülsmann M:

Die Aufbereitung des Wurzelkanals.

in: Endodontie; Hrsg. Heidemann D.

Urban & Fischer, München/Jena 2001, S. 80-116

Hülsmann M:

Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – eine Bilanz.

in: Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – ein Handbuch.

Hrsg. v. Hülsmann M

Quintessenz Verlag, Berlin 2002, S. 11-34

Hülsmann M (2006):

Die Desinfektion des endodontischen Systems.

Endodontie 15, 147-168

Hülsmann M, Franz B, Lorch V (1996):

Reproduzierbarkeit des Periapical Probability Index (PRI).

Zahnärztl Welt/Reform 105, 366-372

Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A (2003):

Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use.

Int Endod J 36, 810-830

Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH (2005):

Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means.

Endodontic Topics 10, 30-76

Imlay JA, Linn S (1988):

DNA damage and oxygen radical toxicity.

Science 240, 1302-1309

Jacinto RC, Gomes BP, Shah HN, Ferraz CC, Zaia AA, Souza-Filho FJ (2005):

Quantification of endotoxins in necrotic root canals from symptomatic and asymptomatic teeth.

J Med Microbiol 54, 777-783

Kayaoglu G, Erten H, Ørstavik D (2005):

Growth at high pH increases Enterococcus faecalis adhesion to collagen.

Int Endod J 38, 389-396

Kenee DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichols BK (2006):

A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques.

J Endod 32, 563-565

Klaiber B, Bergenholtz G (1987):

Calcium hydroxide in root canal therapy

Zahnärztl Mitt. 77, 605-10

Komorowski R, Grad H, Wu XY, Freidman S (2000):

Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentin.

J Endod 26, 315-317

Krell KV, Madison S. (1985):

The use of the Messing gun in placing calcium hydroxide powder.

J Endod 11, 233-234

Krell KV, Johnson RJ, Madison S (1988):

Irrigation patterns during ultrasonic canal instrumentation. Part I. K-type files.

J Endod 14, 65-68

Kwon TY, Fujishima T, Imai Y. (2004):

FT-Raman spectroscopy of calcium hydroxide medicament in root canals.

Int Endod J 37, 489-493

Lanigan RS, Yamarik TA (2002):

Final Report on the Safety Assessment of EDTA, Calcium Disodium EDTA, Diammonium EDTA, Dipotassium EDTA, Disodium EDTA, TEA-EDTA, Tetrasodium EDTA, Tripotassium EDTA, Trisodium EDTA, HEDTA, and Trisodium HEDTA.

Int J Toxicol 21 (Suppl. 2): 95–142

Law A, Messer H (2004):

An evidence-based analysis of the antibacterial effectiveness of intracanal medicaments.

J Endod 30, 689-694

Lee M, Winkler J, Hartwell G, Stewart J, Caine R (2009):

Current trends in endodontic practice: emergency treatments and technological armamentarium.

J Endod 35, 35-39

Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR (2004):

The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls.

Int Endod J 37, 672-678

Leonardo MR, Simões Filho AP, Esberard RM, Bonetti Filho I, Leonardo Rde T (1993):

Safe and easy way to use calcium hydroxide as a temporary dressing.

J Endod 19, 319-320

Lin S, Zuckerman O, Weiss E, Mazor Y, Fuss Z (2003):
Antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow release device to disinfect dentinal tubules.

J Endod 29, 416-418

Lindgren P, Eriksson KF, Ringberg A (2002):
Severe facial ischemia after endodontic treatment.

J Oral Maxillofac Surg 60, 576-569

Löst C, Wesselink PR, Winkler R. (1992):
Grundlagen und Prinzipien der modernen Endodontie.

Endodontie 1, 7-18

Lumley PJ, Walmsley AD, Laird WR (1988):
An investigation into cavitation activity occurring in endosonic instrumentation.

J Dent 16, 120-122

Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW (1992):
Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals.

J Endod 18, 616-619

Maalouf EM, Gutmann JL (1994):
Biological perspectives on the non-surgical endodontic management of periradicular pathosis.

Int Endod J 27, 154-162

Maloney WJ, Maloney MP (2009):
Pierre Fauchard: the father of modern dentistry.

J Mass Dent Soc 58, 28-29

Martinho FC, Gomes BP (2008):

Quantification of endotoxins and cultivable bacteria in root canal infection before and after chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite.

J Endod 34, 268-272

McDonnell G, Russel AD (1999):

Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance.

Clin Microbiol Rev 12, 147-179

Nelson-Filho P, Leonardo MR, Silva LAB, Assed S (2002):

Radiographic evaluation of the effect of endotoxin (LPS) plus calcium hydroxide on apical and periapical tissues of dogs.

J Endod 28, 694-696

Nerwich A, Figdor D, Messer HH (1993):

pH changes in root dentin over a 4 week period following root canal dressing with calcium hydroxide.

J Endod 19, 302-306

Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K (2008):

Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature - Part 2. Influence of clinical factors.

Int End J 41, 6-31

Nygaard-Østby B (1957):

Chelation in root canal therapy: ethylenediaminetetraacetic acid for cleansing and widening of root canals.

Odontologisk Tidskrift 65, 3-11

Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR (2000):

Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro.

Int Endod J 33, 28-36

Peters LB, van Winkelhoff AJ, Buijs JF, Wesselink PR (2002):

Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions.

Int Endod J 35, 13-21

Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F (2001):

Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computer tomography.

J Endod 27, 1-6

Peters OA, Barbakow F, Peters CI (2004):

An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques.

Int Endod J 37, 849-859

Peters OA, Boessler C, Zehnder M (2005):

Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation.

Int Endod J 38, 223-229

Pierce A, Lindskog S (1987):

The effect of an antibiotic/corticosteroid paste on inflammatory root resorption in vivo.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 64, 216-220

Podbielski A, Spahr A, Haller B (2003):

Additive antimicrobial activity of calcium hydroxide and chlorhexidine on common endodontic bacterial pathogens.

J Endod 29, 340-345

Portenier I, Haapasalo H, Rye A, Waltimo TK, Ørstavik D, Haapasalo M (2001):

Inactivation of root canal medicaments by dentine, hydroxylapatite and bovine serum albumin.

Int Endod J 34, 184-188

Rehman K, Saunders WP, Foye RH, Sharkey SW (1996):

Calcium ion diffusion from calcium hydroxide-containing materials in endodontically-treated teeth: an in vitro study.

Int Endod J 29, 271-279

Richman MJ (1957):

The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection.

J Med 12, 12-18

Rivera EM, Williams K (1994):

Placement of calcium hydroxide in simulated canals: comparison of glycerin versus water.

J Endod 20, 445-448

Roy RA, Ahmad M, Crum LA (1994):

Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file.

Int Endod J 27, 197-207

Safavi KE, Nichols FC (1993):

Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide.

J Endod 19, 76-78

Safavi KE, Spångberg LSW (2006):

Chlorhexidin in der Endodontie: Chemie, antimikrobielle Wirkung und mögliche Indikationen.

Endodontie 15, 171-176

Sathorn C, Parashos P, Messer H (2007):

Antibacterial efficacy of calcium hydroxide intracanal dressing: a systematic review and meta-analysis.

Int Endod J 40, 2-10

Saunders WP, Saunders EM (1994):

Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review.

Endod Dent Traumatol 10, 105-108.

Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P (2003):

Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 95, 234-236

Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P (2004):

Effect of three different time periods of irrigation with EDTA-T, EDTA, and citric acid on smear layer removal.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 98, 499-503

Schröder U (1985):

Effects of calcium hydroxide-containing pulp-capping agents on pulp cell migration, proliferation and differentiation.

J Dent Res 64, 541-548

Sen BH, Safavi KE, Spångberg LS (1999):

Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals.

J Endod 25, 235-238

Sharma S, Hackett R, Webb R, Macpherson D, Wilson A (2008):

Severe tissue necrosis following intra-arterial injection of endodontic calcium hydroxide: a case series.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 105, 666-669

Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC (1997):

A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques.

J Endod 23, 503-507

Sigurdsson A, Stancill R, Madison S (1992):

Intracanal placement of Ca(OH)₂: a comparison of techniques.

J Endod 18, 367-370

Siqueira JF Jr, de Uzeda M (1997):

Intracanal medicaments: evaluation of the antibacterial effects of chlorhexidine, metronidazole, and calcium hydroxide associated with three vehicles.

J Endod 23, 167-169

Siqueira FJ, Lopes HP (2002):

Kalziumhydroxid als antimikrobielle Einlage in der Endodontie - Wirkungsmechanismen, Vorteile und Grenzen.

Endodontie 11, 222-347

Skaljac-Staudt G, Najzar-Fleger D, Gjurcević V (1983):

Reactivity of the connective tissue to pulp capping materials

Acta Stomatol Croat 17, 113-118

Spångberg L, Engström B, Langeland K (1973):

Biologic effects of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 36, 856-871

Spångberg L, Ruthberg M, Rydinge E (1979):

Biologic effects of endodontic antimicrobial agents.

J Endod 5, 166-175

Spencer HR, Ike V, Brennan PA (2007):

Review: the use of sodium hypochlorite in endodontics – potential complications and their management.

Br Dent J 202, 555-559

Sreenivasan P, Gaffar SP (2002):

Antiplaque biocides and bacterial resistance: a review.

J Clin Periodontol 29, 965-974

Staeble HJ, Thomä C, Müller HP (1997):

Comparative in vitro investigation of different methods for temporary root canal filling with aqueous suspensions of calcium hydroxide.

Endod Dent Traumatol 13, 106-112

Stevens RH, Grossman LI (1983):

Evaluation of the antimicrobial potential of calcium hydroxide as an intracanal medicament.

J Endod 9, 372-374

Sundqvist G (1994):

Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78, 522-530

Svec TA, Harrison JW (1977):

Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution.

J Endod 3, 49-53

Tang G, Samaranayake LP, Yip HK (2004):

Molecular evaluation of residual endodontic microorganisms after instrumentation, irrigation and medication with either calcium hydroxide or Septomixine.

Oral Dis 10, 389-397

Tanomaru JM, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Bonetti Filho I, Silva LA (2003):

Effect of different irrigation solutions and calcium hydroxide on bacterial LPS.

Int Endod J 36, 733-739

Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S (2003):

A new solution for the removal of the smear layer.

J Endod 29, 170-175

Torres CP, Apicella MJ, Yancich PP, Parker MH (2004):
Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of techniques, revisited.
J Endod 30, 225-227

Trope M, Bergenholtz G (2002):
Microbiological basis for endodontic treatment: can a maximal outcome be achieved
in one visit?
Endod Topics 1, 40-53

Türkün M, Cengiz T (1997):
The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and
root canal cleanliness.
Int Endod J 30, 335-342

Van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR (2005):
A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed
dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation.
Int Endod J 38, 593-596

Van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR (2006):
The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially
placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation.
Int Endod J 39, 472-476

Van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR (2007):
Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of literature.
Int Endod J 40, 415-426

Voet D, Voet JG :
Biochemistry. 2nd edn.
Wiley & Sons, New York/USA 1995, S. 179

Walmsley AD (1987):

Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation.

Int Endod J 20, 105-111

Waltimo T (2006):

Hefepilze bei der endodontischen Infektion. Häufigkeit, Virulenz und Behandlungsstrategien.

Endodontie 15, 123-134

Waltimo T, Ørstavik D, Siren EK, Haapasalo MP (1999):

In vitro susceptibility of Candida albicans to four disinfectants and their combinations.

Int Endod J 32, 421- 429

Wang JD, Hume WR (1988):

Diffusion of hydrogen ion from various sources through dentine.

Int Endod J 21, 17-26

Weiger R:

Vitalerhaltende Therapie.

in: Endodontie; hrsg. v. Heidemann D

Urban & Fischer, München/Jena 2001, S. 58-77

Wennberg A (1980):

Biological evaluation of root canal antiseptics using in vitro and in vivo methods.

Scand J Dent Res 88, 46-52

West LA, LaBounty GL, Keller DL (1989):

Obturation quality utilizing ultrasonic cleaning and sealer placement followed by lateral condensation with gutta percha.

J Endod 15, 507-511

White RR, Hays GL, Janer LR (1997):

Residual antimicrobial activity after canal irrigation with chlorhexidine.

J Endod 23, 229-231

Wiemann AH, Wilcox LR (1991):

In vitro evaluation of four methods of sealer placement.

J Endod 17, 444-447

Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS (1983):

A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions. Part 3.

J Endod 9, 137-142

Yang SF, Rivera EM, Baumgartner KR, Walton RE, Stanford C (1995):

Anaerobic tissue-dissolving abilities of calcium hydroxide and sodium hypochlorite.

J Endod 21, 613-616

Zamany A, Safavi K, Spångberg LS (2003):

The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96, 578-581

Zehnder M (2006):

Root canal irrigants.

J Endod 32, 389-398

Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T (2002):

Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solution.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94, 756-762

Zehnder M, Lehnert B, Schönenberger K, Waltimo T (2003):

Spüllösungen und medikamentöse Einlagen in der Endodontie.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 113, 756-763

Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T (2005):

Chelation in root canal therapy reconsidered.

J Endod 31, 817-820

Zeltner M, Peters O, Paqué F (2009):

Temperature changes during ultrasonic irrigation with different inserts and modes of activation.

J Endod 35, 573-577

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Seite
Abb. 1	28
Abb. 2	28
Abb. 3	28
Abb. 4	29
Abb. 5	30
Abb. 6	30
Abb. 7	35
Abb. 8	35
Abb. 9	36
Abb.10	36
Abb.11	37
Abb.12	37
Abb.13	38
Abb.14	38
Abb.15	39
Abb.16	43
Abb.17	44
Abb.18	45
Abb.19	45
Abb.20	45
Abb.21	46
Abb.22	46
Abb.23	46
Abb.24	47
Abb.25	47
Abb.26	47
Abb.27	51
Abb.28	51
Abb.29	52
Abb.30	52
Abb.31	54
Abb.32	54
Abb.33	55
Abb.34	55
Abb.35	57
Abb.36	57
Abb.37	58
Abb.38	58

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle	Seite
Tab. 1	34
Tab. 2	41
Tab. 3	41
Tab. 4	42
Tab. 5	44
Tab. 6	50
Tab. 7	53
Tab. 8	56
Tab. 9	58
Tab. 10	60

12. Materialliste

Reamer	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Sekundenkleber	Renfert, Hilzingen, Deutschland
Tesafilm	TESA SE, Hamburg, Deutschland
Silaplast	Dentax GmbH & Co. KG, Ettlingen, Deutschland
Einwegspritze	B. Braun, Melsungen, Deutschland
Ultraschallgerät	Piezon Master- 400, EMS Nyon, Schweiz
Papierspitze	Henry Schein, Melville, NY, USA
Endo IT, Drehmomentregulierter Motor	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Hypocal	Merz Dental GmbH, Lütjenburg, Deutschland
Pastinject	Micro-Mega, Besançon, Frankreich
Wurzelkanalmodelle	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
NaviTip-Spülnadel	Ultradent Products, South Jordan, UT, USA
FlexMaster	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Wattepellet	Henry Schein, Melville, NY, USA
Röntgenprüfkörper QUART dent/digitest 2.1	Quart GmbH, Zorneding, Deutschland
Röntgengerät Elitys	Trophy Radiologie SA, Marne-la-Vallée, Frankreich