

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 Studie der Effektivität vier verschiedener Spültechniken zur Entfernung
von Kalziumhydroxid aus einem gekrümmten Wurzelkanalsystem**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Moritz Schroeder

aus

Kiel

Göttingen 2012

Dekan: Prof. Dr. med. M. Schön

I. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

II. Berichterstatter/in: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Gersdorff

Tag der mündlichen Prüfung: 07. August 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Anatomie des Endodonts	3
2.2	Wurzelkanalkrümmung.....	4
2.3	Ziele der endodontischen Behandlung	5
2.4	Wurzelkanalpräparation.....	6
2.5	Wurzelkanalspültechniken.....	7
2.5.1	Passive Ultraschallspülung (Piezon®Master 400)	8
2.5.2	Hydrodynamische Spülung (RinsEndo®)	11
2.5.3	Mechanisch-aktivierte Spülung (CanalBrush™).....	14
2.5.4	Schall-aktivierte Spülung (EndoActivator®)	15
2.5.5	Manuelle Spülung.....	17
2.6	Medikamentöse Einlagen	18
2.6.1	Historischer Überblick zu Kalziumhydroxid.....	20
2.6.2	Chemische Eigenschaften und Wirkungsweisen von Kalziumhydroxid.....	20
2.6.3	Techniken zur Entfernung von Kalziumhydroxid aus Wurzelkanälen	22
3	Ziele der Studie.....	25
4	Material und Methode	26
4.1	Auswahl und Vorbereitung des Untersuchungsmaterials	26
4.2	Präparation der Zähne	27
4.3	Insertion der medikamentösen Einlage.....	28
4.4	Verwendete Aktivierungsgeräte	28
4.4.1	Passive Ultraschallspülung mit dem Piezon® Master 400	28
4.4.2	Hydrodynamische Spülung mit RinsEndo®.....	29
4.4.3	Mechanisch-aktivierte Spülung mit der CanalBrush™	29
4.4.4	Schallaktivierte Spülung mit dem EndoActivator®	29
4.4.5	Manuelle Spülung (Kontrollgruppe)	29
4.5	Versuchsdurchführung	30
4.6	Versuchsgruppen	30
4.7	Aufbereitung der Präparate unter dem Mikroskop	32
4.8	Auswertung	33
4.9	Statistische Auswertung	35
5	Ergebnisse	36
5.1	Modell	36
5.2	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	36
5.2.1	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit	36
5.2.2	Interindividuelle Übereinstimmung.....	36
5.3	Fragestellungen	37

5.4	Ergebnisse des Hauptversuchs	37
5.5	Ergebnisse in Abhängigkeit von der Wurzelkanalkrümmung	43
5.5.1	Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	43
5.5.2	Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°	47
5.6	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Wurzelkanalradius.....	50
5.6.1	Wurzelkanalradius von 1,0 mm bis 7,5 mm:	50
5.6.2	Wurzelkanalradius von 7,6 mm bis 16,0 mm	52
6	Diskussion	56
6.1	Diskussion der Methode	56
6.2	Diskussion der Ergebnisse	58
6.2.1	Bewertung der Reinigungseffektivität des Piezon® Master 400.....	59
6.2.2	Bewertung der Reinigungseffektivität des RinsEndo®-Systems	63
6.2.3	Bewertung der Reinigungseffektivität der CanalBrush™	66
6.2.4	Bewertung der Reinigungseffektivität des EndoActivators®	69
6.2.5	Bewertung der Reinigungseffektivität der Handspülung (Kontrollgruppe)	72
7	Schlussfolgerung und Ausblick	75
8	Zusammenfassung	77
9	Anhang	79
9.1	Beispiele für Kontrollbilder	79
9.2	Zusatz Ergebnisse.....	80
9.3	Material- und Geräteübersicht	82
9.4	Abbildungsverzeichnis.....	83
9.5	Tabellenverzeichnis	85
10	Literaturverzeichnis.....	86

1 Einleitung

Das Hauptaugenmerk jeglicher konservierend-zahnärztlichen Behandlung liegt in der Vitalerhaltung der Pulpa. Doch leider kommt es bei vielen Patienten zu einer irreversiblen Schädigung der Pulpa durch die Entwicklung einer Karies, durch ein dentales Trauma oder auch durch wiederholte zahnärztliche Behandlungen. Die Folge ist eine mikrobielle Infektion der Pulpa, die über die Stadien einer Pulpitis bis zu einer Pulpanekrose reichen kann (Hellwig et al. 2007). Jede endodontische Behandlung einer mikrobiellen Infektion verfolgt das Ziel, die Zahl der Mikroorganismen im Wurzelkanal deutlich zu reduzieren. Angesichts des komplexen Aufbaus des Wurzelkanalsystems kann diese Behandlung eine erhebliche Herausforderung darstellen.

Die Entfernung des vitalen oder nekrotischen Gewebes aus dem Wurzelkanalsystem mit standardisierten instrumentellen Techniken erzielt aufgrund einer Vielzahl an Isthmen, Anastomosen und Seitenkanälen im Endodont vielfach nur eine begrenzte Wirkung. Häufig beschränkt sich die Reinigungswirkung nur auf den Hauptkanal, ein hoher Anteil des komplexen, dreidimensionalen Wurzelkanalsystems bleibt unbearbeitet (Peters et al. 2001). Hinzu kommt, dass eine große Anzahl der humanen Zähne gekrümmte Wurzelkanäle besitzt, die eine optimale Präparation weiter erschweren. Um die nicht-instrumentierbaren Wurzelkanalareale dennoch effektiv zu erreichen, werden chemische Spüllösungen angewendet. Diese Spüllösungen besitzen einen antibakteriellen und gewebeauflösenden Effekt und können unter Anwendung verschiedener Spültechniken in den Wurzelkanal appliziert werden. Für eine stärkere Reduktion der bakteriellen Mikroorganismen wird in vielen Fällen außerdem eine medikamentöse Einlage in Form von Kalziumhydroxid in das Wurzelkanalsystem eingebracht (Del Fabbro et al. 2007).

Die medikamentöse Einlage aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen, erweist sich in der Folgesitzung oftmals als Problem. Insbesondere in den Bereichen, die nicht instrumentiert oder von chemischen Spüllösungen nur ungenügend erreicht werden können, bleiben häufig Reste von Kalziumhydroxid zurück. Diese Rückstände auf der Wurzelkanaloberfläche können zur Entwicklung von Undichtigkeiten (sogenannte *leakages*) innerhalb der Wurzelkanalfüllung führen, welche wiederum ein erneutes Aufblühen der Entzündung begünstigen können (Calt und Serper 1999; Rödiger und Hülsmann 2006).

Eine optimale Reinigung auch schwer zu erreichender Wurzelkanalareale wie zum Beispiel in Wurzelkanälen mit starken Wurzelkanalkrümmungen ist daher unabdingbar und darf bei keiner endodontologischen Behandlung vernachlässigt werden.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bisher keine der klassischen Spültechniken in der Lage ist, eine vollständige Reinigung eines Wurzelkanals zu erreichen (Cunningham

et al. 1982), ist die Erforschung neuer Techniken umso wichtiger. In den vergangenen Jahren wurden immer wieder neue Spültechniken entwickelt und auf den Dentalmarkt gebracht.

Ziel dieser Studie ist es, drei neue Spültechniken einem Vergleich mit den etablierten Techniken Ultraschall- und Handspülung zu unterziehen und deren Eignung bei der Entfernung von Kalziumhydroxid aus gekrümmten Wurzelkanälen zu untersuchen.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie des Endodonts

Aufgebaut als funktionelle Einheit setzt sich das Endodont aus den Strukturen der Zahnpulpa und dem umgebenden Dentin zusammen und erfüllt Aufgaben formativer, nutritiver, sensorischer und defensiver Natur (Hellwig et al. 2007).

Das Wurzelkanalsystem stellt sich als ein weitverzweigtes, komplexes, dreidimensionales System dar. Ein oder mehrere Hauptkanäle verlaufen von der Pulpakammer bis zum Foramen apicale und gehen dort in das Parodont über. Ergänzt werden diese Hauptkanäle durch Seiten- und akzessorische Kanäle sowie transversale Anastomosen, Ausbuchtungen, Verästelungen und blind-endende Divertikel.

Gutiérrez et al. (1990) beobachteten bei einer Untersuchung der Wurzelquerschnitte von Eck- und Schneidezähnen zahlreiche bukkale und linguale Wurzelkanalausläufer, die bei einer chemo-mechanischen Aufbereitung oftmals nicht erreicht wurden. Walton (1976) entdeckte in einer Studie zur Untersuchung von mechanischen Aufbereitungsmethoden in geraden und gekrümmten Wurzelkanälen große Unterschiede in der Präparation der verschiedenen Kanalwandareale. Auffallend war, dass der geringste prozentuale Anteil an bearbeiteten Kanalwänden in Zähnen mit einer großen Wurzelkrümmung gefunden wurde. Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit einer Studie von Weine et al. (1975), in der gezeigt werden konnte, dass die Wurzelkrümmung einen gravierenden Einfluss auf die Effektivität der Präparationsmethode hat. Es wurde nachgewiesen, dass sich bei einer manuellen Präparation mit Reamern und Feilen ein vermehrter Kanalwandabtrag auf der Innenseite der Krümmung im mittleren Krümmungsanteil und auf der Außenseite im apikalen Kanalwandanteil ergab. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch Peters et al. (2001), die nachwiesen, dass bei einer rein mechanischen Präparation bis zu 35% der Wurzelkanaloberfläche unbearbeitet bleiben.

Ein weiteres wichtiges Element des Endodonts stellt das Dentin mit seiner vielschichtigen histologischen Struktur dar. Das Dentin wird im gesamten Wurzelkanalbereich von Dentinkanälchen durchzogen, die von der Pulpa in Richtung des Zahnschmelzes und des Wurzelzementes verlaufen. Im pulpanahen Bereich bestehen ca. 80% der Gesamtquerschnittsfläche des Dentins aus dem Lumen der Dentinkanälchen. Dieser Anteil unterliegt jedoch Varianzen, insbesondere in Hinsicht auf das Alter des jeweiligen Zahnes (Hellwig et al. 2007).

In zahlreichen Studien konnte belegt werden, dass bei einer Infektion des Endodonts die Dentintubuli von Mikroorganismen besiedelt werden (Haapasalo und Ørstavik 1987; Meryon und Brook 1990; Gutiérrez et al. 1990). Diese Besiedelung der Tubuli bedingt, dass eine

gründliche chemomechanische Präparation in Kombination mit einer medikamentösen Wurzelkanaleinlage Voraussetzung für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist.

2.2 Wurzelkanalkrümmung

Eine Vielzahl humaner Zähne weist eine Wurzelkanalkrümmung auf. Das Ausmaß der Krümmung ist jedoch individuell sehr unterschiedlich, wobei die Seitenzähne zumeist eine größere Krümmung aufzeigen, während die Frontzähne eher gerade Wurzelkanäle besitzen. Den Einfluss der Wurzelkanalkrümmung auf die manuelle Wurzelkanalaufbereitung dokumentierte erstmalig Schneider (1971). Er überprüfte, ob eine manuelle Präparationsmethode in einem gekrümmten Wurzelkanal eine ebenso runde Präparationsform erreichen konnte wie in einem geraden Wurzelkanal. Um dies differenziert betrachten zu können, entwickelte er eine Methodik zur Berechnung der Wurzelkanalkrümmung (Abbildung 2-1).

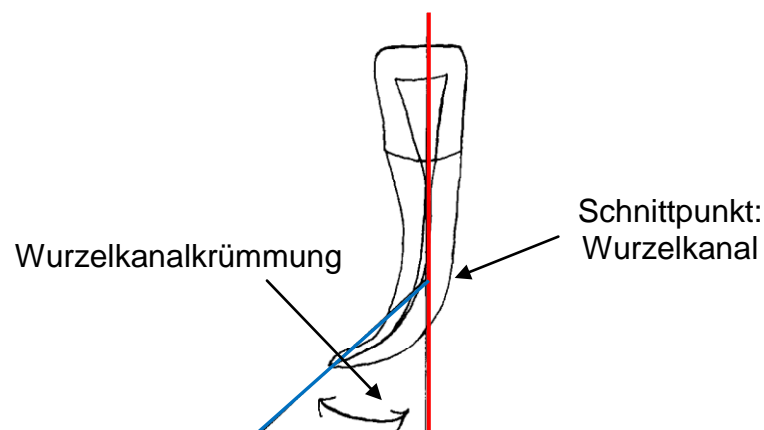


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung zur Bestimmung der Wurzelkanalgeometrie nach Schneider (1971, S. 272)

Pruett et al. (1997) ermittelten neben dem Winkel der Wurzelkanalkrümmung zusätzlich den Radius der Krümmung (Abbildung 2-2).

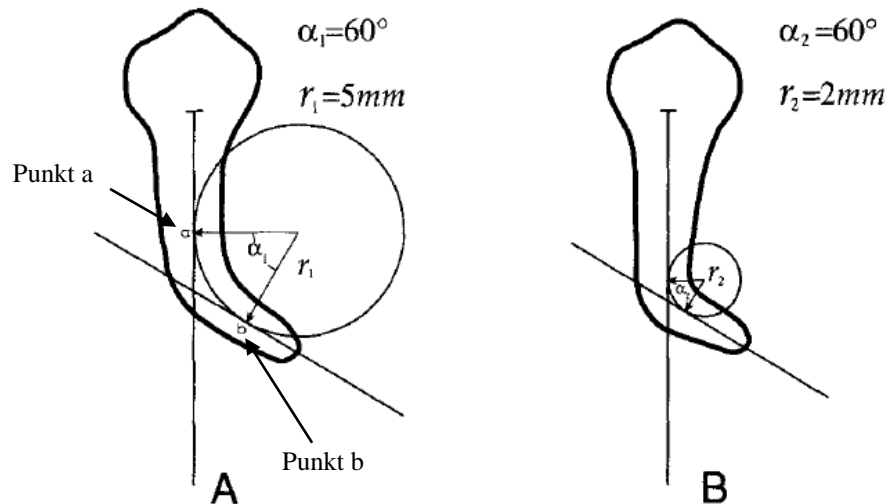


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung zur Bestimmung der Wurzelkanalgeometrie nach Pruett et al. (1997, S. 79)

Pruett et al. (1997) konnten zeigen, dass die Wurzelkanalkrümmung unabhängig von dem Wurzelkanalradius vorliegt. So können zwei Wurzelkanäle eine gleiche Wurzelkanalkrümmung (Abbildung 2-2: A und B mit einer Krümmung von 60°) aufweisen, während die Wurzelkanalradien stark differieren (Abbildung 2-2: A: $r_1 = 5 \text{ mm}$; B: $r_2 = 2 \text{ mm}$). Der Wurzelkanalradius beschreibt, wie abrupt bzw. stark sich die Wurzelkanalkrümmung vom geraden Kanalverlauf verändert. Je kleiner der Wurzelradius ist, desto stärker ist die Kanalveränderung.

2.3 Ziele der endodontischen Behandlung

Die Ursachen einer Infektion des Endodonts und einer daraus resultierenden notwendigen endodontischen Therapie können sowohl infektiöser, mechanischer, thermischer, als auch osmotischer oder chemisch-toxischer Natur sein. Jede zeitlebens aufgetretene Irritation im Bereich des Dentins kann zu einer akkumulierenden Reaktion der Pulpa führen (Schäfer 2001). Ausschlaggebend für das Ausmaß der Schädigung der Pulpa sind die Intensität und die Einwirkdauer des Insults. Bei einer kurzzeitigen Einwirkung einer Noxe kann die Pulpa diese oftmals ohne irreversible Schädigungen kompensieren, während es bei langanhaltenden Reizen zur Ausbildung dauerhafter Schäden kommen kann. Die irreversible Schädigung der Pulpa führt zu einer Pulpanekrose, die in einer Entzündung des periapikalen Gewebes und damit in einer Parodontitis apicalis resultiert (Hellwig et al. 2007).

Die Karies ist mit 95% die häufigste Ursache einer Entzündung und Infektion der Pulpa. Die Infektion der Pulpa ist ein dynamischer Prozess, in deren Verlauf sich eine bakterielle Mischinfektion aus aeroben und anaeroben Mikroorganismen ausbildet und an deren Ende die Nekrose steht (Wasfy et al. 1992). Bei einer infizierten Nekrose beträgt die Anzahl der vorliegenden Bakterien etwa $<10^2$ bis $>10^8$ koloniebildende Einheiten (Colony Forming Unit = CFU) (Kantz und Henry 1974, Sundqvist 1992).

Das Ziel einer Wurzelkanalbehandlung wurde von der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE = European Society of Endodontology) wie folgt definiert: „Langfristiger Erhalt des Zahnes als funktionsfähige Kaueinheit und Erhaltung oder Wiederherstellung gesunder periradikulärer Strukturen“ (ESE 2006). Grundlegend für das Erreichen dieses Ziels ist die Reduktion der Mikroorganismen im Bereich des Wurzelkanalsystems.

Um dieses Ziel unter optimalen Voraussetzungen umsetzen zu können, ist ein strukturiertes Vorgehen notwendig (ESE 2006). Grundlage der Wurzelkanalbehandlung ist die gezielte Desinfektion des komplexen dreidimensionalen Wurzelkanalsystems. Die Desinfektion ist definiert als eine Maßnahme, die durch Abtöten, Inaktivieren bzw. Entfernen von Mikroorganismen (Bakterien, Viren, Pilze, Protozoen) eine Reduzierung der Keimzahl um mindestens fünf Zehnerpotenzen erreicht, damit von dem desinfizierten Material keine Infektion mehr ausgehen kann (Pschyrembel 2011).

Die gezielte Desinfektion erfolgt über die Behandlungselemente Trepanation, Wurzelkanalpräparation und Wurzelkanalspülung. Die Trepanation soll einen ausreichend dimensionierten Zugang zum endodontischen System schaffen, um im weiteren Verlauf eine übersichtliche Darstellung, eine gute Reinigung, eine konische Formgebung und eine optimale Füllung aller Wurzelkanäle bis zum apikalen Endpunkt zu erlauben. Die Wurzelkanalspülung soll unterstützend zu einer Reduktion der Keime und bakteriellen Toxine, der Auflösung und Entfernung pulpalen Gewebes und dem Abtransport von Dentinspänen beitragen. Die Insertion medikamentöser Wurzelkanaleinlagen soll eine zusätzliche desinfizierende und/ oder schmerzreduzierende Wirkung erzielen. Elementar ist zwischen den Behandlungsschritten aber auch nach Abschluss der Behandlung ein bakteriendichter, koronaler Verschluss zur Vermeidung einer Rekontamination (Koagel et al. 2008). Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung kann nur langfristig gemessen werden über eine regelmäßige Kontrolle des klinischen und röntgenologischen Zustandes (Weiger et al. 2000).

2.4 Wurzelkanalpräparation

Die Wurzelkanalpräparation ist ein zentrales Element einer Wurzelkanalbehandlung und verfolgt das Ziel, das umfangreiche dreidimensionale Wurzelkanalsystem von vitalem oder nekrotischem Pulpagewebe zu reinigen und die bei vorausgegangener Infektion vorliegenden Bakterien im Sinne einer Desinfektion zu reduzieren (Schäfer et al. 2000). Die Präparation kann in diesem Zusammenhang mechanisch, chemisch oder in einer Kombination im Sinne einer chemo-mechanischen Präparation durchgeführt werden.

In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Reinigung des Wurzelkanalsystems alleine durch mechanische Präparation nicht möglich ist. Byström und Sundqvist (1981) zeigten, dass die Anzahl der Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem nach erfolgter mechanischer Präparation und Spülungen mit Kochsalzlösungen um den Faktor 100 bis 1000 erheblich reduziert werden konnte. Siqueira et al. (1999) konnten nachweisen, dass der

Keim *Enterococcus faecalis*, der in infizierten Wurzelkanälen vorlag, mittels manueller und maschineller Präparationstechniken und Spülungen mit Kochsalz zwar um 90% verringert werden konnte, jedoch eine vollständige Elimination nicht erreicht wurde.

Die chemische Wurzelkanalpräparation mit antibakteriell wirksamen und gewebeauflösenden Spüllösungen ist ein wichtiger Bestandteil der Wurzelkanalpräparation und findet als chemo-mechanische Präparation Anwendung (Hülsmann 2006; Barthel et al. 2006). Ziel soll es sein, die mechanische Präparation zu unterstützen und insbesondere Wurzelkanalareale, die von den manuellen oder maschinell eingesetzten Instrumenten nur unzureichend erreicht werden, zu reinigen (Gulabivala et al. 2004). Ziele der chemischen Wurzelkanalaufbereitung sind:

- Desinfektion des Endodonts durch antimikrobielle Wirkung gegen Mikroorganismen sowie Auflösung des Biofilms,
- Auflösung und Entfernung organischen und anorganischen Kanalinhalt durch Unterstützung der mechanischen Präparation,
- Inaktivierung bakterieller Toxine (Lipopolysaccharide),
- Auflösung der Schmierschicht (*smear layer*),
- Abtransport von Dentinspänen,
- Gleitwirkung für die mechanischen Wurzelkanalinstrumente.

Die Anforderungen an die Spüllösungen sind neben einer effektiven Desinfektionswirkung eine gute Biokompatibilität und eine einfache Applizierbarkeit. Der Einsatz verschieden wirksamer Wurzelkanalspülungen sollte in einer sinnvollen Kombination erfolgen, so dass die Agenzien ihre volle Wirkung entfalten können, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Heute werden überwiegend Natriumhypochlorit (NaOCl), Chlorhexidin (CHX) und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) zur chemischen Bearbeitung des Endodonts empfohlen (Hülsmann 2006; Zehnder 2006; Hülsmann und Schäfer 2007).

2.5 Wurzelkanalspültechniken

Das Ziel der Wurzelkanalspülung ist die chemische Desinfektion des gesamten dreidimensionalen Wurzelkanalsystems unter besonderer Beachtung der Wurzelkanalbereiche, die nicht oder nur peripher von der mechanischen Präparation erreicht wurden.

Die Kenntnis, dass eine enge Relation zwischen dem endodontischen Erfolg und dem Zusammenwirken der chemischen mit der mechanischen Präparation vorliegt, führte in den vergangenen Jahren zur Entwicklung verschiedenster manueller und maschineller Hilfsmittel,

welche die Applikation der Spüllösungen und deren Effektivität unterstützen und fördern sollen.

2.5.1 Passive Ultraschallspülung (Piezon®Master 400)

Das Piezon®Master 400 der Firma EMS (Electro Medical Systems, Nyon, Schweiz) ist ein Gerätesystem für Ultraschallanwendungen in der dentalen Therapie. Das Gerät dient als Basiseinheit für Behandlungen in den Bereichen Parodontologie, Endodontie und restaurative Verfahren.

Das Piezon®Master 400 besteht aus der Basiseinheit mit einer konnektierbaren Flasche für die Spüllösung, dem Handstück inklusive Aufsatz sowie einem Fußpedal für die Steuerung. Im Bereich der Bedienoberfläche wird entsprechend dem Verwendungszweck über Dreh- schalter die Leistungsstärke (*Power*) und die Flüssigkeitsmenge (*Liquid*) eingestellt. Für Spülungen im Wurzelkanal können Endo-Feilen der ISO-Größen 15 bis 35 verwendet werden. Das Gerät arbeitet in einem Schwingungsbereich von 28 bis 32 kHz und kann u.a. mit den endodontischen Spüllösungen Natriumhypochlorit $\leq 2,5\%$, Chlorhexidin 0,3% und Wasserstoffperoxid $\leq 3\%$ eingesetzt werden.

Die Anwendung eines Ultraschallgeräts in der Endodontie wurde erstmals 1957 von Richman (Gu et al. 2009) beschrieben. Nachdem Martin und Cunningham (1984) die Fähigkeit ultraschallaktivierter K-Feilen nachwiesen, Dentin bearbeiten zu können, setzte sich diese Anwendungsmöglichkeit bei der Wurzelkanalpräparation zunehmend durch. Des Weiteren fand das Ultraschallsystem Einsatz für die Wurzelkanaldesinfektion (Martin und Cunningham 1985).

Die Funktionsweise von Ultraschallgeräten basiert auf der Entwicklung von Oszillation mit Frequenzen im Bereich von 25 bis 32 kHz, die damit oberhalb der hörbaren Schallgrenze von Menschen liegen (menschlicher Hörbereich: 20 Hz bis 16 kHz (Klinke 2003)). Dabei werden transversale Vibrationen erzeugt, die sich entsprechend einem bestimmten Muster aus Höhen und Tiefen fortsetzen (Walmsley et al. 1989). Generiert werden diese Schwingungen aus der Umwandlung von elektrischer Energie mittels Magnetostriktion oder Piezoelektrizität. Die Weiterleitung erfolgt über endodontische Feilen oder Instrumente.

Im Bereich der Ultraschallanwendungen im Wurzelkanal liegen grundsätzlich zwei Einsatzmöglichkeiten vor:

- *ultrasonic instrumentation*,
- *passive ultrasonic irrigation*.

Während die UI (= *ultrasonic instrumentation*) eine Spülung sowie eine gleichzeitige, durch Ultraschall hervorgerufene Präparation bezeichnet, erfolgt bei der PUI (= *passive ultrasonic irrigation*) eine Spülung ohne Präparation. Zwar konnten über die Verwendung einer ultra-

schallaktivierten Präparation Wurzelkanäle mit saubereren Kanaloberflächen erreicht werden (Cunningham et al. 1982, Stamos et al. 1987, Archer et al. 1992), jedoch wiesen die Kanäle infolge der schwer zu kontrollierenden präparierenden Ultraschallspitze oftmals Beschädigungen der Wurzelkanaloberfläche auf (Walmsley et al. 1991; Lumley et al. 1992).

Die passive Ultraschallspülung wurde erstmals im Jahre 1980 von Weller et al. beschrieben. Der Begriff „passiv“ ist in diesem Zusammenhang gleichzusetzen mit dem Begriff „nichtscheidend“, weil über die passive Anwendung eine Instrumentation und damit ein Kontakt mit der Wurzelkanaloberfläche vermieden werden soll (Jensen et al. 1999). Die endodontische Feile sollte friktionsfrei innerhalb des Wurzelkanals stehen und über die Ultraschallaktivierung Mikroströmungen sowie Kavitationen innerhalb der Spüllösung erzeugen (Ahmad et al. 1987; Ahmad et al. 1992). Kavitation beschreibt in diesem Zusammenhang den Effekt, dass sich infolge der Strömungsturbulenzen mikro- und makroskopische Luftbläschen ausbilden und infolge der Anregung durch die Ultraschallwellen kollabieren. Ahmad et al. (2009) beschrieben diesen Effekt als *stabile cavitation*. Die Folge ist eine effektivere Verteilung der Spüllösung in dem komplexen Wurzelkanalsystem bis in nicht-instrumentierbare Bereiche und damit insgesamt eine erhöhte Reinigungswirkung. Die Ausbreitung der Schallwellen erfolgt in Form charakteristischer Schwingungsknoten und -bäuche entlang der gesamten Länge der Feile (Abbildung 2-3). Eine maximale Schwingungsamplitude bildet sich nach Ahmad et al. (2009) im Bereich der Feilenspitze aus. Infolgedessen kann davon ausgegangen werden, dass sich in diesem apikalen Bereich aufgrund der großen Strömungsturbulenzen und Kavitationen eine hohe Reinigungseffizienz entwickelt (Roy et al. 1994; Desai und van Himel 2009; Ahmad et al. 2009).

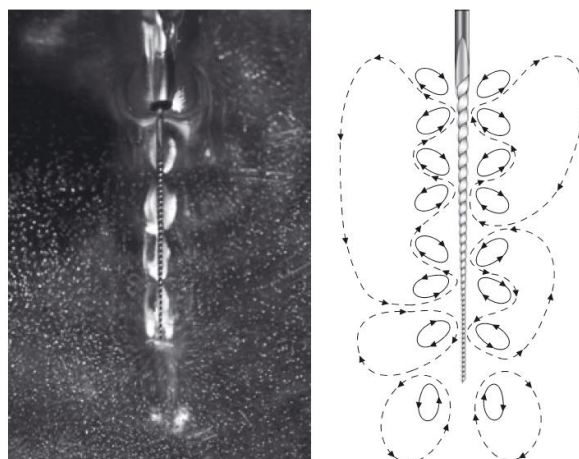


Abbildung 2-3: Durch den Einsatz eines Ultraschallgeräts erzeugte Strömungsturbulenzen (van der Sluis et al. 2007b, S. 418)

Die endodontischen Feilen sollten bis zu einer maximalen Länge von zwei bis drei Millimeter kürzer als die errechnete Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingeführt werden, um eine optimale Schwingung ohne Kontakt zum Wurzelkanalentin und die Ausbildung maximaler Turbulenzen an der Feilenspitze zu ermöglichen (van der Sluis et al. 2006). Zu einer Einschränkung

kung der Schwingungsamplitude kann es jedoch kommen, wenn die Feilenspitze im Wurzelkanal nicht frei schwingen kann. Dies kann insbesondere in gekrümmten Wurzelkanälen auftreten. Munoz und Camacho-Cuadra (2012) konnten dennoch nachweisen, dass die PUI im Vergleich zu einer Handspülung und einem EndoVac-System auch in gekrümmten Wurzelkanälen mit einer Wurzelkrümmung über 25° am effektivsten in der Lage ist, NaOCl bis auf Arbeitslänge zu bringen. Für eine effiziente Entwicklung von Mikroströmungen ist aber das zusätzliche Vorbiegen der Feile für gekrümmte Wurzelkanäle zu empfehlen (Ahmad et al. 1992; Lumley und Walmsley 1992; Lumley et al. 1992). Die Zufuhr der Spüllösung kann über eine manuelle Applikation mithilfe einer konventionellen Einmalspritze oder über das Ultraschallsystem selbst erfolgen.

Van der Sluis et al. (2010) wiesen nach, dass die Reinigungseffizienz eines Ultraschallsystems durch die Art der Spüllösung maßgeblich beeinflusst wird. Es konnte gezeigt werden, dass die Reinigungswirkung bei der Anwendung mit Natriumhypochlorit signifikant besser ausfällt als die mit kohlenensäurehaltigem oder destilliertem Wasser. Die hohe Reinigungswirkung des Ultraschallsystems mit Natriumhypochlorit bei der Entfernung von Debris, Biofilmen oder Geweberesten gegenüber Wasser konnte in verschiedenen Untersuchungen bestätigt werden (Cheung und Stock 1993; Türkün und Cengiz 1997; Ohl et al. 2006). Als Erklärung für die überlegene Reinigungswirkung des PUI mit NaOCl können der Aktivierungsprozess (Moorer und Wesselink 1982) sowie die Erhöhung der Temperatur (Cunningham und Joseph 1980, Cameron 1988) dienen.

Hinsichtlich der Reinigungseffizienz der ultraschallaktivierten Spülung wurden wiederholt vergleichende Untersuchungen zu der Standard-Spülmethode, der Handspülung, durchgeführt. In den Studien wurde eine signifikante Überlegenheit der PUI gegenüber der Spülung per Hand bei der Entfernung von Debris (Cheung und Stock 1993; Lee et al. 2004), pulpalem Gewebe (Gutarts et al. 2005) oder bakteriellen Biofilmen (Sjögren und Sundqvist 1987) nachgewiesen.

Des Weiteren wurde die ultraschallaktivierte Spülung als Standardspültechnik in einer Vielzahl von Studien verwendet, um neue Spültechniken mit gängigen Techniken vergleichen zu können. Rödiger et al. (2010c) wiesen eine signifikant bessere Reinigungswirkung der PUI gegenüber dem hydrodynamischen System RinsEndo sowie der Handspülung nach. Für die mechanische Spültechnik mit der Polymerbürste CanalBrush™ konnten ebenfalls gleichwertige Reinigungsergebnisse mit einer PUI sowie eine signifikante Überlegenheit gegenüber einer Handspülung nachgewiesen werden (Taşdemir et al. 2011). Gegenüber dem schallaktivierten System EndoActivator® wies die PUI gleichwertige Ergebnisse bei der Reinigung des apikalen Wurzelkanalbereichs (Chye 2008) oder bei der Eindringtiefe in laterale Seitenkanäle (de Gregorio et al. 2009) auf.

Der Einsatz eines Ultraschallsystems in gekrümmten Wurzelkanälen wurde erst in vereinzelten Studien untersucht. Jensen et al. (1999) konnten nachweisen, dass schall- und ultra-

schallaktivierte endodontische Feilen gegenüber der Handspülung eine signifikant höhere Reinigungseffizienz bei der Entfernung von Debris aus gekrümmten Wurzelkanälen (25° bis 35°) entwickeln. Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit einer Studie von Sabins et al. (2003). Gutarts et al. (2005) konnten aufzeigen, dass nach einer manuellen und maschinellen Präparation eine 1-minütige Ultraschallspülung eine deutliche Steigerung der Reinigungswirkung erreicht. Weiterhin wurde eine Abhängigkeit der Reinigungswirkung von der Wurzelkrümmung untersucht, die aber zwischen den Krümmungsbereichen <25° und 26 bis 52° keinen signifikanten Unterschied aufwies.

Hinsichtlich der Reinigungseffizienz einer PUI bei der Entfernung von Ca(OH)_2 aus Wurzelkanälen liegen zurzeit nur wenige Studien vor. Nach Untersuchungen von Kenee et al. (2006), van der Sluis et al. (2007a), Taşdemir et al. (2011) und Wiseman et al. (2011) kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine komplette Entfernung von Ca(OH)_2 aus einem Wurzelkanal mittels PUI auch unter der Verwendung chemisch aktiver Spüllösungen nicht möglich ist. Dennoch konnte in allen Studien eine signifikant bessere Reinigungswirkung einer PUI gegenüber einer Spülung ohne Aktivierung nachgewiesen werden.

2.5.2 Hydrodynamische Spülung (RinsEndo®)

Das Gerät RinsEndo® (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland) ist ein System für die hydrodynamische Wurzelkanal-Desinfektion.

Es besteht aus einer Einmalkanüle, einem Handstück sowie einer konventionellen Einmalspritze beliebigen Volumens mit Luer-Ansatz. Die Einmalkanüle ist 28 mm lang, besitzt einen Durchmesser von 0,45 mm und weist auf den unteren 7 mm eine halboffene Gestaltung auf. Sie wird durch Rotation an der Handstückspitze gesichert. Die Kanüle kann durch einen Projektor ergänzt werden, der, aufgesetzt auf die Kanüle, sowohl als Längenstopper als auch als Schutz gegen austretende Spüllösung dient. Das Handstück ist aufgebaut aus einem Titangehäuse, einer Mischkammer und einem Frequenzgenerator. Es wird über den Turbinenanschluss betrieben. Die Montage der Einmalspritze erfolgt im Bereich der Handstückbasis und wird über einen Luer-Ansatz gesichert. Abbildung 2-4 stellt das System RinsEndo schematisch dar.

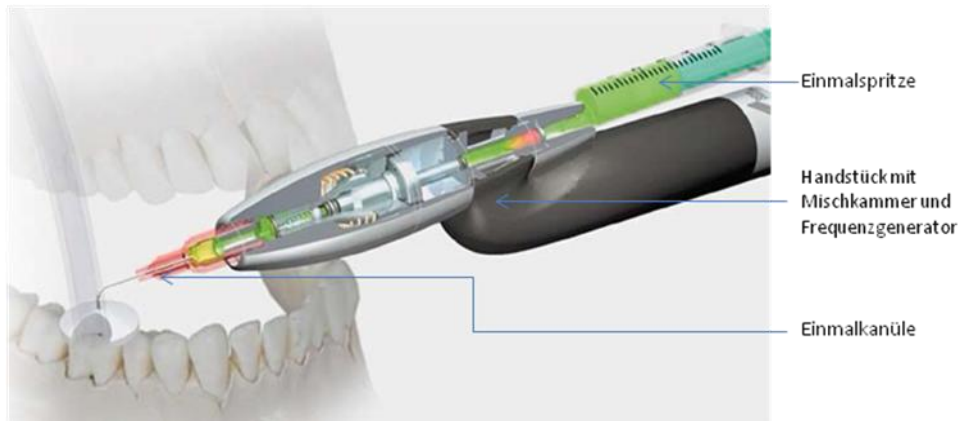


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung des Systems RinsEndo® (Dürr Dental AG 2012)

RinsEndo® beruht auf einem Saug-Druck-Prinzip. In der Phase des Druckaufbaus bewirkt der pneumatisch betriebene Frequenzgenerator, dass in einer Frequenz von 1,6 Hz 65 µl Spüllösung aus der aufgesetzten Einmalspritze angesaugt, in der Mischkammer mit einem Luftgemisch versetzt und über die Einmalkanüle in den Wurzelkanal befördert wird. In der anschließenden Saugphase wird ein Teil der Spüllösung im Wurzelkanal angesaugt und über die Einmalkanüle zurück in die Mischkammer übertragen. In der Mischkammer wird dies Luft-Spüllösungsgemisch mit frischer Spüllösung versetzt, um als erneutes Gemisch in den Wurzelkanal zu gelangen. Es entsteht ein kontinuierlicher Kreislauf. Entsprechend den Herstellerangaben sollte zusätzlich eine manuelle Absaugung im Trepanationsbereich erfolgen, um überschüssige Spülflüssigkeit aufzunehmen.

Folgende technischen Daten wurden vom Hersteller für RinsEndo® angegeben:

- Luftverbrauch 0,5 l/min,
- Luftdruckversorgung 2,3 bis 4,2 bar,
- Spülgeschwindigkeit 6,2 ml/min,
- Taktfrequenz 1,6 Hz,
- Maße 150 mm x 22 mm x 35 mm (L x B x H),
- Gewicht 87 g.

Entsprechend den Herstellerangaben dürfen folgende Spüllösungen in den angegebenen Konzentrationen Verwendung finden:

- NaOCl 1% - 3%,
- H₂O₂ 3% - 5%,
- CHX 0,2% - 2%,

- EDTA <10 %,
- Citrat <17%.

Das hydrodynamische Prinzip beruht auf einer von Lussi et al. (Lussi et al. 1993; Lussi et al. 1995) beschriebenen Technik, deren Ziel es ist, über die Erzeugung eines Unterdrucks im Wurzelkanalsystem mikroskopische und makroskopische Hohlräume zu erzeugen. Über einen schnellen Wechsel zu einem Überdruck kommt es zum Kollaps dieser Hohlräume und zu hydrodynamischen Strömungsturbulenzen. RinsEndo® nutzt über diese oszillierende Flüssigkeitsbewegung das hydrodynamische Prinzip und strebt eine Aktivierung der Spüllösung und eine dadurch verbesserte Spülwirkung an (Dürr Dental AG 2012).

Über die Effektivität der Spülwirkung des RinsEndo®-Geräts und deren Auswirkungen auf den endodontischen Erfolg liegen zurzeit nur wenige Studien vor. In einer der ersten Studien untersuchten Braun et al. (2005) RinsEndo® hinsichtlich der Reinigungseffektivität bei der Entfernung von Pulpagewebe. Die über ein Rasterelektronenmikroskop durchgeführte Auswertung konnte zeigen, dass RinsEndo® bei einer Präparationsweite von ISO 40 eine deutlich gesteigerte Reinigungswirkung im Vergleich zur konventionellen Handspülung besitzt. Bei einer Präparation bis ISO 20 konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede gefunden werden.

Muselmani et al. führten ebenfalls 2005 eine Untersuchung hinsichtlich der desinfizierenden Wirkung von RinsEndo® unter der Verwendung von NaOCl (2,5%) und CHX (1%) durch. Es wurden extrahierte Zähne mit *Enterococcus faecalis* und *Candida albicans* infiziert und nach 48-stündiger Inkubationsdauer mit RinsEndo® und einer konventionellen Handspülung in Kombination mit den o.g. Lösungen gespült. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl bei der Verwendung der konventionellen Handspülung als auch bei der hydrodynamischen Spülung eine signifikante Reduktion der Mikroorganismen erreicht werden konnte. Jedoch war im mittleren und apikalen Wurzelkanaldrittel RinsEndo® gegenüber der konventionellen Spülung signifikant überlegen, wogegen im oberen Kanaldrittel kein Unterschied gesehen werden konnte. In der Entfernung des *smear layer* waren beide Techniken gleichwertig.

Die Untersuchungsergebnisse von Muselmani et al. (2005) stehen dabei in Übereinstimmung mit einer Studie von Pouch et al. aus dem Jahre 2007. In der Studie wurde RinsEndo® mit der konventionellen Spülung per Hand und einem Ultraschallsystem hinsichtlich der Reinigungseffektivität im koronalen, mittleren und apikalen Drittel verglichen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Spülung mit dem RinsEndo®-System im apikalen Bereich den anderen Systemen gegenüber signifikant überlegen war. Im koronalen und mittleren Drittel zeigte das hydrodynamische System eine schlechtere Reinigungswirkung.

Hauser et al. (2007) untersuchten die zirkulären Penetrationstiefen einer mit Fuchsin versetzten Natriumchloridlösung in das Wurzelkanaldentin sowie die mögliche apikale Extrusion von Spüllösung durch RinsEndo®. Hierbei erwies sich das RinsEndo®-System in Bezug auf die

Eindringtiefe in die Dentintubuli der konventionellen Spülung als überlegen. Jedoch konnte nachgewiesen werden, dass es in 80% der Spülversuche mit RinsEndo® zu einem Übertritt von Spüllösung aus dem Wurzelkanalsystem kam gegenüber 13% bei der konventionellen Handspülung. Es kann daher von einem erhöhten Risiko einer apikalen Extrusion bei der Verwendung des RinsEndo®-Systems ausgegangen werden.

2010 untersuchten Rödig et al. (2010c) die Reinigungseffektivität einer konventionellen Handspülung, des hydrodynamischen Systems RinsEndo® und einer passiven Ultraschallspülung hinsichtlich der Entfernung von Debris insbesondere in irregulären Kanalbereichen und bei verschiedenen apikalen Kanaldurchmessern. Für die Studie wurden extrahierte Prämolaren verwendet, die bis zu den Größen 30/02, 40/02 und 50/02 aufbereitet und mit halbrunden Vertiefungen in der Kanalwand versehen wurden. RinsEndo® wies gegenüber der konventionellen Spülung per Hand eine signifikant bessere Reinigungswirkung auf. Dagegen war die passive Ultraschallspülung RinsEndo® signifikant überlegen. Lediglich bei einer apikalen Aufbereitungsgröße von 30/02 lag kein signifikanter Unterschied vor.

Weitergehende Studien zum Einfluss der Wurzelkanalkrümmung oder des Wurzelkanalradius auf die Reinigungseffizienz des RinsEndo-Systems sowie Untersuchungen zur Reinigungswirkung bei der Entfernung von medikamentösen Einlagefüllungen aus dem Wurzelkanalsystem liegen zurzeit noch nicht ausreichend vor.

2.5.3 Mechanisch-aktivierte Spülung (CanalBrush™)

Die CanalBrush™ (Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland) ist ein Instrument zur Unterstützung der mechanischen Wurzelkanalreinigung. Die 2008 eingeführte CanalBrush™ ist ein aus Polypropylen gefertigtes Bürstchen (Abbildung 2-5), welches über einen HG-Schaft in das Winkelstück eingesetzt wird. Aufgebaut ist die CanalBrush™ aus einem zentralen Polypropylen-Stift mit einer Gesamtlänge von 41 mm. Der Arbeitsteil besitzt eine Länge von ca. 16 mm und verfügt über 30 Borsten, die in einem Abstand von 0,5 mm, einem Winkel von 90° und um 180° versetzt vom zentralen Stift abzweigen (Salman et al. 2010). Die Borsten weisen eine Länge von <0,4 mm auf. Der apikale Anteil der Canal-Brush™ besitzt einen Durchmesser von 0,25 mm bei einer Konizität von 2%.



Abbildung 2-5: Polypropylen-Bürstchen CanalBrush™

CanalBrush™ sind in den Größen S (Aufbereitung bis mind. ISO 25/04), M (Aufbereitung bis mind. ISO 30/04) und L (Aufbereitung bis mind. ISO 35/04) erhältlich. Entsprechend den Herstellerangaben soll sie während der Wurzelkanalbehandlung zur Entfernung von Dentinspänen, Belägen und sonstigen Verunreinigungen Anwendung finden und darf in

Kombination mit den Spüllösungen Natriumhypochlorit, Natriumchlorid, Wasserstoffperoxid, Alkohol und Chlorhexidin verwendet werden. Eine Anwendung in Zusammenhang mit Chelatoren (zum Beispiel EDTA) ist nach US-Patent Nummer 6,179,617 kontraindiziert (Coltène/Whaledent 2008). Die CanalBrush™ kann sowohl in manueller Handhabung als auch in Kombination mit einem Winkelstück bei maximal 600 Umdrehungen pro Minute eingesetzt werden. Sie ist bei 134° autoklavierbar.

Plotino et al. untersuchten 2009 die mechanischen Eigenschaften der CanalBrush™. Im Rahmen der Studie wurden die Haltbarkeit und das Frakturrisiko in Relation zur zeitlichen Anwendung untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die CanalBrush™ bei der Anwendung in geraden, ovalen und gekrümmten Wurzelkanälen nach einer Zeit von 1, 3 und 5 Minuten zwar nicht frakturierte, jedoch die Abnutzung der Borsten in enger Relation zum zeitlichen Einsatz lag.

Salman et al. überprüften 2010 die Reinigungseffektivität der CanalBrush™. Dabei modifizierten sie die Anwendung der CanalBrush™, indem das Polypropylen-Bürstchen mit einer elektrischen Schallzahnbürste (Phillips Sonicare, Eindhoven, Niederlande) genutzt wurde. Die Spülung in Kombination mit der CanalBrush™ erzielte in dieser Studie eine signifikant-bessere Reinigungswirkung in den koronalen, mittleren und apikalen Bereichen als die Handspülung.

Taşdemir et al. (2011) untersuchten die Effektivität verschiedener Techniken bei der Entfernung von Kalziumhydroxid aus Wurzelkanälen von Prämolaren. Die Auswertung, die die prozentuale Bedeckung der Wurzelkanaloberfläche durch Kalziumhydroxid nach der Durchführung der verschiedenen Spültechniken bewertete, zeigte, dass eine Kombination aus einer Spülung mit NaOCl und deren Aktivierung mit der CanalBrush™ für 30 Sekunden ein signifikant besseres Ergebnis erreichen konnte als die alleinige Spülung mit NaOCl bzw. EDTA. Im Vergleich mit einer aktivierten Spülung mit Ultraschall konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Eine komplette Entfernung von Kalziumhydroxid konnte durch keine der untersuchten Spültechniken erreicht werden.

2.5.4 Schall-aktivierte Spülung (EndoActivator®)

Der EndoActivator® (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, USA) ist ein oszillierendes Instrument, welches über die Entwicklung von Schallwellen die Aktivierung einer Spüllösung im Wurzelkanal und damit eine erhöhte Reinigungswirkung anstrebt.

Das Gerät besteht aus einem batteriebetriebenen Handstück, welches über einen Antriebsmotor verfügt, der mit einer Leistung von 2000, 6000 oder 10000 cpm (cycles per Minute = Schwingungen pro Minute) betrieben werden kann. Die hydrodynamische Aktivierung erfolgt über die vom Antriebsmotor erzeugten Schwingungen, die über einen flexiblen Aufsatz (Aktivator-Tip) auf die Flüssigkeiten im Wurzelkanal übertragen werden. Die Aufsätze bestehen aus einem MG-Polymer (Medical Grade = für den medizinischen Einsatz geeignet), sind

nicht-schneidend, verfügen über Tiefenmarkierungen bei 18, 19 und 20 mm und sind entsprechend einer Farbcodierung in den drei Größen klein (ISO 15/02 -> gelbe Farbcodierung), mittel (25/04 -> rote Farbcodierung) und groß (35/04 -> blaue Farbcodierung) erhältlich. Beispielhaft ist der EndoActivator® mit der Aktivator –Tip-Größe M in Abbildung 2-6 dargestellt.

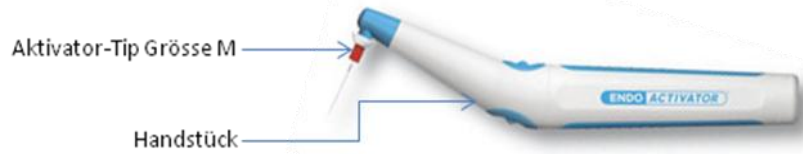


Abbildung 2-6: Darstellung des EndoActivator® mit Aktivator-Tip Größe M (Dentsply Tulsa Dental Specialties 2012)

In der praktischen Anwendung wird das Handstück mit einer Schutzhülle versehen, um eine Kontamination zu verhindern. Es ist nicht autoklavierbar und nicht wasserdicht. Das Aufstecken des Aktivator-Tips erfolgt im Anschluss. Entsprechend den Herstellerangaben soll der EndoActivator® ohne Kontakt zur Kanalwand und im Abstand von 2 mm vor dem Apex im flüssigkeitsgefüllten Wurzelkanal angewandt werden. Eine Aktivierung darf erst nach der optimalen Positionierung im Wurzelkanal erfolgen. Die Nutzung des Geräts sollte laut Hersteller für 30 bis 60 Sekunden mit einer vertikalen Hub- und Senkbewegung von 2 bis 3 mm erfolgen. Der EndoActivator® arbeitet mit einer Schallfrequenz von 1 bis 6 Hz und unterscheidet sich damit von den Ultraschallgeräten durch die niedrige Frequenz.

Caron et al. (2010) und Chye (2008) führten Untersuchungen zur Reinigungseffizienz des Endo-Activator® durch und betrachteten dabei besonders die Spülwirkung in den apikalen Dritteln gekrümmter Wurzelkanäle. Caron et al. (2010) konnten nachweisen, dass das apikale Drittel durch die Schallaktivierung signifikant besser gesäubert wurde als durch das maschinelle RinsEndo®. Ein signifikanter Unterschied gegenüber der manuellen Aktivierung lag nicht vor. Hingegen ergab die Studie von Chye (2008), dass die schallaktivierte Spülung mit dem EndoActivator® ein ähnliches Reinigungsergebnis wie die Ultraschallspülung aufwies. Lediglich gegenüber der Kontrollgruppe in Form einer Handspülung konnte ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Studien zur Untersuchung der Penetrationstiefen von Spüllösungen (NaOCl) in das umgebende Dentin und laterale Seitenkanäle durch den EndoActivator® wurden von de Gregorio et al. (2009) und Paragliola et al. (2010) durchgeführt. De Gregorio et al. (2009) konnten hierbei nachweisen, dass sowohl der schallgestützte EndoActivator® als auch ein Ultraschallgerät auf einer Höhe von 2 mm und 4,5 mm vom Apex eine bessere Reinigung der lateralen Seitenkanäle gegenüber einer manuellen Handspülung (Kontrollgruppe) erreichen. In einer ähnlich aufgebauten Studie von Paragliola et al. (2010) konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass die höchsten Eindringtiefen einer eingefärbten NaOCl-Lösung in das

Wurzeldentin durch ein Ultraschallgerät, gefolgt von dem schallaktivierten EndoActivator® erreicht werden. Eine manuelle Aktivierung mit einem Guttapercha-Point zeigte dagegen die gleichen Penetrationstiefen wie die Kontrollgruppe ohne Aktivierung der Spüllösung.

Desai und van Himel überprüften 2009 in einer vergleichenden Studie die apikale Extrusion von Spüllösungen bei der Anwendung verschiedener Spülsysteme. Das Spülsystem EndoVac erzeugte kein apikales Überpressen von Spüllösung. Für den EndoActivator® ergab sich lediglich eine minimale Extrusion, wobei der Unterschied zwischen den beiden Systemen nicht signifikant war. Die manuelle Spülung, ein Ultraschallsystem und das Rins-Endo®-System wiesen dagegen einen deutlich erhöhten Flüssigkeitsübertritt auf.

Zur Entfernung von Bakterien durch das Endo-Activator®-System liegen verschiedene Studien vor. Huffaker et al. (2010) konnten in ihrer In-vivo-Studie keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Bakterienelimination durch eine Handspülung und ein Schallsystem erkennen. Dieses Ergebnis wird von Brito et al. (2009) gestützt, die zwischen der Anwendung einer Nadelspülung (NaviTip), dem EndoActivator® und dem EndoVac-System keinen signifikanten Unterschied in der Reduktion von *Enterococcus faecalis* nachwiesen. Shen et al. konnten 2010 aufzeigen, dass die alleinige Anwendung von Schall- oder Ultraschallsystemen keinen Einfluss auf die Biofilm-Struktur oder die Vitalität von Bakterien hat.

In einer Studie von Wiseman et al. (2011) wurde die Entfernung von Kalziumhydroxid aus gekrümmten Wurzelkanälen durch den Endo-Activator® und durch ein Ultraschallsystem untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei der Anwendung in einem 3 x 20 Sekunden andauernden Intervall beide Systeme eine deutliche Reduktion von Ca(OH)_2 erzielen können. Das Ultraschallsystem zeigte jedoch gegenüber dem Schallsystem eine erhöhte Reinigungswirkung.

2.5.5 Manuelle Spülung

Die Spülung per Hand stellt die einfachste Form einer Spülung dar und erfolgt unter Anwendung einer standardisierten Einmalspritze variablen Volumens in Kombination mit einer konventionellen Einmalkanüle. Die Sicherung dieser beiden Elemente erfolgt für eine erhöhte Arbeitssicherheit über einen Luer-Lock-Ansatz (Manogue et al. 2005). Der Durchmesser der Applikationskanülen variiert zwischen 0,23 mm und 0,4 mm. Das Design der Kanülen reicht von einer konventionellen apikalen Öffnung bis zu einer lateralen Öffnung, wobei die Kanülenspitze offen oder geschlossen gestaltet sein kann. Anwendung kann die Handspülung in passiver Form im Sinne einer statistischen Spülung oder in aktivierter Form im Sinne einer aktiven Hub- und Senkbewegung finden.

Die Applikationsnadel sollte für den Spülvorgang ohne Wandkontakt in den Wurzelkanal eingeführt werden, um der injizierten Spüllösung eine Zirkulation im Wurzelkanal unter Abtransport eines Maximums an Debris und sonstiger Bestandteile nach koronal zu ermöglichen. Der elementare Vorteil der Spülung per Hand besteht in der guten manuellen Kontrolle sowie

der individuellen Anpassung der benötigten Applikationstiefe der Kanüle im Wurzelkanal, der applizierten Spülmenge und des Spüldrucks an die Gegebenheiten im Wurzelkanal (Baker et al. 1975; van der Sluis et al. 2006). Die mechanische Reinigungswirkung der Handspülung ist allerdings relativ schwach ausgeprägt. Die wesentliche Spülwirkung ist im koronalen und mittleren Bereich (Goldman et al. 1976) zu finden. Frühe In-vitro-Studien schildern, dass die Annäherung der Spülkanüle an den Apex eine wichtige Rolle bei der Entfernung von Dentinspänen spielt (Brown und Doran 1975; Abou-Rass und Piccinino 1982). 1977 untersuchte Ram die Eindringtiefe der Spüllösung in den Wurzelkanal. Er konnte nachweisen, dass während eines Spülvorgangs die Spülflüssigkeit lediglich 1 mm tiefer als die applizierte Kanüle in den Wurzelkanal eindringt. Eine Erhöhung des Spüldrucks führte zwar zu einer Eindringtiefe von 2 mm, vergrößerte dabei jedoch das Risiko einer apikalen Extrusion von Spülflüssigkeit (Messing und Ray 1972). Die Eindringtiefe der Spülflüssigkeit und folglich die mechanische Reinigungswirkung wird trotz optimaler Positionierung einer Spülkanüle im Wurzelkanal durch Faktoren wie eine starke Wurzelkrümmung und/ oder ein geringes Wurzelkanalvolumen limitiert. Die Wahl eines zu großen Spülkanüledurchmessers führt ebenfalls zur Reduzierung der Eindringtiefe der Spülflüssigkeit und zur Minimierung des gewünschten Reinigungserfolges. Entscheidend für eine erhöhte Reinigungswirkung ist daher die Positionierung der Spülkanüle bis in das apikale Wurzel Drittel. Chow empfahl bereits 1983 eine weitlumige apikale Präparation sowie die Verwendung dünner Spülkanülen, um die effizienteste Spüleistung zu erreichen. Gulabivala et al. (2005) stellten die Bedeutung der apikalen Desinfektion in den Vordergrund, welche durch eine effizientere Applikation der antimikrobiellen Spüllösungen erreicht werden soll. Sedgley et al. konnten nachweisen, dass eine gezielte, effektive Reduktion von Mikroorganismen im apikalen Drittel durch eine weitlumige Aufbereitung und eine Positionierung der Applikationsnadel bis 1 mm vor der Arbeitslänge erreicht werden konnte (Sedgley et al. 2005).

2.6 Medikamentöse Einlagen

Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist die gezielte Reduktion von Mikroorganismen. Obgleich sowohl die mechanischen Präparationsmethoden als auch die chemischen Spültechniken über die vergangenen Jahre kontinuierlich verbessert wurden, erreicht jedoch keines dieser Systeme eine vollständige Desinfektion des Wurzelkanalsystems (Byström und Sundqvist 1981; Byström und Sundqvist 1985; Stamos et al. 1987; Law und Messer 2004; Nair et al. 2005). Das komplexe dreidimensionale Wurzelkanalsystem bietet einerseits mit einer Vielzahl von Seiten- und akzessorischen Kanälen sowie transversalen Anastomosen, Ausbuchtungen, Verästelungen und blind-endenden Divertikeln, als auch mit der hohen Dichte an Dentinkanälen den Mikroorganismen ein optimales Rückzugsgebiet und damit ein Reservoir, von dem während und nach einer endodontischen Behandlung eine Infektion bzw. eine Reinfektion ausgehen kann (Oguntebi 1994; Sen et al. 1995).

Liegt wie im Falle einer Vitalexstirpation keine mikrobielle Infektion des Endodonts vor, wird mittlerweile empfohlen, die Wurzelkanalbehandlung in einer Sitzung abzuschließen (Spångberg 2001; Trope und Bergenholz 2002). Damit kann das Risiko einer Neu- oder Reinfektion zwischen mehreren Behandlungsschritten deutlich gesenkt werden. Ist es jedoch zu einer mikrobiellen Infektion des Endodonts gekommen oder kann die Wurzelkanalbehandlung z.B. aus Zeitgründen nicht in einer Sitzung beendet werden, sollte die Applikation einer medikamentösen Einlage zwischen den Behandlungsschritten erfolgen. Das Ziel der medikamentösen Einlage ist die zusätzliche Reduktion von Bakterien im Wurzelkanalsystem bzw. die Prävention einer Infektion. Ob eine Behandlung in einer oder mehreren Sitzungen erfolgt, hängt oftmals von unterschiedlichen Faktoren ab wie der Erfahrung des Zahnarztes, der Lokalisation des Zahnes, der Größe der apikalen Läsion und den geplanten Folgebehandlungen (del Fabbro et al. 2007). In einem Review von Su et al. aus dem Jahre 2011 konnte zwischen einer ein- und mehrzeitigen Behandlung von infizierten Zähnen in Bezug auf postoperative Komplikationen kein Unterschied gesehen werden.

Athanassiadis et al. (2007) beschrieben die Aufgaben der medikamentösen Einlagen wie folgt:

- Eliminierung von Mikroorganismen, die während der chemomechanischen Präparation nicht zerstört wurden,
- Reduktion der periradikulären Entzündungsprozesse,
- Schmerzreduktion,
- Eliminierung von apikalem Exsudat,
- Prävention oder Beherrschung entzündlicher Wurzelresorptionen,
- Verhinderung einer Reinfektion des Wurzelkanalsystems durch Bildung einer chemomechanischen und physikalischen Barriere,
- Neutralisierung von Endotoxinen im Dentin.

Zum Einsatz als medikamentöse Einlage ist in den vergangenen Jahrzehnten eine Vielzahl verschiedener Materialien gekommen. Eine Differenzierung dieser Stoffe erfolgt auf der Basis ihrer chemischen Zusammensetzung. Hierbei kann eine Einteilung in folgende Gruppen vorgenommen werden: Phenole (Eugenol, Kampfer-Para-Monochlorophenol, Kampfer-Phenol, Metacresyl-Acetate, Beechwood Creosol), Aldehyde (Formocresol), Halogene (CHX, Jodhaltige Präparate, z.B. Jod-Jod-Kali), Antibiotika (Ledermix), Kalziumhydroxid und eine Vielzahl an Kombinationen (Law und Messer 2004).

Die Aufgaben einer medikamentösen Einlage (Athanassiadis et al. 2007) kann jedoch keines der auf dem Markt befindlichen Produkte gänzlich erfüllen. Oftmals liegt ein Missverhältnis

zwischen der antibakteriellen Wirkung und der Toxizität der medikamentösen Einlage vor, so dass Stoffgruppen wie Phenole, Aldehyde oder Halogene nicht mehr zum Einsatz kommen sollten (Harrison JW und Madonia 1971; Lewis und Chestner 1981; Masillamoni et al. 1981; Soekanto et al. 1996). Dagegen wird Kalziumhydroxid heutzutage als das am besten wirksame antibakterielle Präparat mit der geringsten toxischen Wirkung angesehen und gilt als Goldstandard in der Endodontie (Zehnder et al. 2003).

2.6.1 Historischer Überblick zu Kalziumhydroxid

Nach einer erstmaligen Erwähnung von Kalziumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) als Medikament in der Wurzelkanalbehandlung durch Nygren im Jahre 1838 (Gutmann et al. 1987), wurde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jedoch erst knapp 80 Jahre später im Jahre 1920 durch Bernhard W. Hermann als biologisches Wurzelfüllmaterial in der Endodontie eingeführt. In den Jahren 1930 bis 1955 wurde die Verwendung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zur Vitalerhaltung der Pulpa zunehmend diskutiert und erforscht.

Eine weitere Verbreitung fand Kalziumhydroxid ab den 60er Jahren als temporäres Wurzelkanalfüllmaterial, nachdem Frank 1966 bei der Behandlung devitaler Zähnen mit Kalziumhydroxid eine akzentuierte Wurzelbildung bzw. eine Induktion einer apikalen Hartschichtbildung verzeichnen konnte. Positive Eigenschaften wie eine antimikrobielle Wirkung (Byström et al. 1985; Fava und Saunders 1999), gewebeauflösendes Potenzial (Andersen et al. 1992; Türkün und Cengiz 1997), die Hemmung von Wurzelresorptionen (Tronstad 1988) oder die Induktion von Hartgewebekonstruktion (Schröder 1985) führten in der Folge zu einer dauerhaften Etablierung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in der endodontischen Therapie. Anwendung findet es in einer Vielzahl von Behandlungsmaßnahmen und Präparatformen (Heithersay 1975).

2.6.2 Chemische Eigenschaften und Wirkungsweisen von Kalziumhydroxid

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ist ein weißes, staubiges, amorphes Pulver und wird auch als gelöschter Kalk bezeichnet. Es ist ein Produkt aus der Vereinigung von Kalziumoxid (CaO) und Wasser (H_2O) $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ (Remy 1960).

Die Wirkung des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liegt in seinem ausgeprägten basischen Potenzial begründet (pH bis 12,5) (Siqueira und Lopes 1999). Befindet sich $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in einer wässrigen Lösung, kommt es zu einer Dissoziation von Kalzium- (Ca^{2+}) und Hydroxylionen (OH^-). Die Dissoziationsgeschwindigkeit hängt dabei maßgeblich von dem Trägermedium ab (Siqueira und Lopes 1999). In Folge dieser pH-Wert-Erhöhung führen die freigesetzten Kalziumionen zu einer Bindung freier Kohlendioxidionen, welche die anaeroben Bakterien für ihren Stoffwechsel benötigen (Saif et al. 2008). Die freien Hydroxylionen wiederum induzieren bei den Bakterien eine Denaturierung ihrer Proteine, eine Beeinträchtigung der Zellwände und eine Schädigung ihrer DNA (Siqueira und Lopes 1999). Die Gesamtheit dieser Effekte resultiert in dem Niedergang des bakteriellen Stoffwechsels. Ergänzt werden diese biochemischen Vorgänge durch die Ausbildung einer undurchlässigen Schicht aus Kalziumhydroxid, die sich im Be-

reich der Kanalwände auflagert und zu einem Verschluss der Dentintubuli führt. Hierbei kommt es zu einer Penetration von Hydroxylionen in die Dentintubuli (Komabayashi et al. 2009), welche in einer zunehmenden Erhöhung des pH-Werts im peripheren Wurzelbereich resultiert. Tronstad et al. (1981) konnten nachweisen, dass es bei einer Einlage von Ca(OH)_2 über einen Zeitraum von vier Wochen in dem direkt angrenzenden Wurzelkanaldentin zu einem Anstieg des pH-Wertes auf 11,1 bis 12,2, im zirkumpulpalen Dentin auf 8,0 bis 11,1 und im peripheren Dentin auf 7,4 bis 9,6 kam. Die Kontrollgruppe wies hingegen einen konstanten pH-Wert von 6,0 bis 7,4 im gesamten Zahnhartsubstanzbereich auf.

Ein weiterer positiver Effekt ist die physische Eliminierung des Hohlraums ‚Wurzelkanal‘ durch das Auffüllen mit Ca(OH)_2 (Athanasias et al. 2007). Das Zusammenspiel dieser Elemente wirkt sich positiv auf die Reduzierung der Mikroorganismen und ihres Substratangebotes aus.

Die antibakterielle Wirkung des Ca(OH)_2 auf die Mehrheit der im Wurzelkanal befindlichen Bakterien konnte in einer Vielzahl von Studien nachgewiesen werden (Byström et al. 1985; Haapasalo und Ørstavik 1987; Estrela et al. 1998). Als kritisch ist die konventionelle Therapie mit Ca(OH)_2 jedoch bei dem Vorkommen einer resistenten Mikroflora zu sehen. In einer Studie von Siqueira und de Uzeda (1996) konnte gezeigt werden, dass Ca(OH)_2 bei einer Infektion des Wurzelkanals mit den resistenten Mikroorganismen *Actinomyces israelii*, *Fusobacterium nucleatum* und *Enterococcus faecalis* Ca(OH)_2 in Kombination mit einer Salzlösung nur eine schwache antibakterielle Wirkung entwickelt. *Actinomyces israelii* konnte nach einer Einwirkzeit von einem Tag eliminiert werden, wohingegen *Fusobacterium nucleatum* und *Enterococcus faecalis* auch nach einer Woche keine Reduktion zeigten. Bei der Verwendung des Ca(OH)_2 in Kombination mit einer Kampfer-Paramonochlorphenollösung konnte hingegen eine vollständige Eliminierung von *Actinomyces israelii* und *Fusobacterium nucleatum* nach einer Stunde und des *Enterococcus faecalis* nach einem Tag nachgewiesen werden (Siqueira und de Uzeda 1996). Die schwache Wirkung von Ca(OH)_2 gegenüber *Enterococcus faecalis* wurde in mehreren Untersuchungen bestätigt (Stevens und Grossman 1983; Haapasalo und Ørstavik 1987; Pavaskar et al. 2012). In einer weiterführenden Studie von Harrison AJ et al. aus dem Jahre 2010 konnte hingegen nachgewiesen werden, dass nach einem Applikationszeitraum von einer Woche *Enterococcus faecalis* um 83% reduziert wurde. Eine mögliche Erklärung für die Gegensätzlichkeit der Studien über die Eliminierung des Problemkeims *Enterococcus faecalis* lieferten Badr et al. (2011), die eine effiziente antibakterielle Wirkung des Ca(OH)_2 auf das Bakterium nur bei direktem Kontakt nachwiesen.

Bezüglich der zeitlichen Verweildauer einer medikamentösen Einlage in einem Wurzelkanal und der daraus resultierenden antibakteriellen Wirkung wurde eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt. Byström et al. (1985) konnten nach einer Einlage von vier Wochen eine Reduktion der intrakanalären Mikroorganismen um 97% nachweisen. Bei einer Herab-

setzung des Zeitrahmens auf zwei Wochen verzeichneten Reit et al. (1988) eine persistierende Infektion mit einem verbleibenden Anteil von Mikroorganismen von 26%. Diese Untersuchung steht in Übereinstimmung mit einer Studie von Ørstavik et al. (1991), die bei einer Einlagezeit von einer Woche lediglich eine Bakterienreduktion um 65% nachweisen konnten. Diese Studien stehen im Gegensatz zu einer In-vivo-Studie von Sjögren et al. (1991), die die antibakterielle Wirksamkeit von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Bezug auf die zeitliche Dauer der Einlage von 10 Minuten zu einer Woche verglichen. Nach einer Applikationsdauer von 10 Minuten konnte in 50% der untersuchten Wurzelkanäle ein positiver Bakterienbefund festgestellt werden. Hingegen konnte eine nachweisbare Keimfreiheit nach einem Applikationszeitraum von einer Woche erreicht werden. Eine mögliche Erklärung kann in einer Studie von Nerwich et al. (1993) gefunden werden, die nachwies, dass die Hydroxylionen einen Zeitraum von 7 Tagen benötigten, um die Dentinschicht gänzlich zu durchdringen, den pH-Wert zu erhöhen und ihre Wirkung zu entfalten. Nach 2 bis 3 Wochen konnte eine Sättigung des Gewebes mit Hydroxylionen verzeichnet werden.

Das Potenzial von $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Gewebe aufzulösen, wurde 1988 von Hasselgren et al. untersucht. Sie konnten aufzeigen, dass Kalziumhydroxid in der Lage ist, nach einem Wirkungszeitraum von 12 Tagen muskuläres Gewebe gänzlich aufzulösen. Eine Steigerung der Gewebeauflösung konnte in diesem Zusammenhang mittels einer kombinierten Vorbehandlung mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ über 30 min und einer anschließenden Einlage in 0,5 % NaOCl bewirkt werden, welches in einer Auflösung des Gewebes nach bereits 90 Minuten resultierte. Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit einer Studie von Türkün und Cengiz aus dem Jahre 1997, die nachwies, dass eine kombinierte Anwendung einer $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Paste mit einer 0,5%igen NaOCl-Abschlusspülung im apikalen und mittleren Drittel eines Wurzelkanals eine effiziente Reinigungswirkung entfalten kann. Der gemeinsame Einsatz von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und NaOCl wurde ebenfalls von Wadachi et al. (1998) empfohlen, die der Kombination der Agenzien eine höhere Effizienz gegenüber der Einzelanwendung einräumten.

2.6.3 Techniken zur Entfernung von Kalziumhydroxid aus Wurzelkanälen

Nach einer medikamentösen Einlage mit Kalziumhydroxid im Rahmen einer mehrzeitigen Therapie ist eine gründliche Entfernung Grundlage für eine erfolgreiche Wurzelbehandlung. Der Verbleib von Kalziumhydroxidanteilen im Bereich der Wurzelkanalwände, insbesondere in Gebieten des Apex, lateralen Seitenkanälen oder Isthmen, erhöht das Risiko einer Ausbildung eines so genannten *leakage*. Eine solche Undichtigkeit kann sich aufgrund der Löslichkeit des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bei Kontakt mit Körperflüssigkeiten ausbilden, was in einer verringerten Wandbeständigkeit des Sealers und der Wurzelkanalfüllung resultiert und ein erneutes Aufblühen der Entzündung begünstigen kann (Calt und Serper 1999; Rödiger und Hülsmann 2006). Die Entwicklung eines *leakage* hängt dabei maßgeblich von der Fähigkeit des Sealers ab, das verbleibende $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in die Wurzelkanalfüllung mit einzuschließen (Porkaew et al. 1990). Insbesondere bei der Verwendung eines Zinkoxid-Eugenol-basierten Sealers steigt

das Risiko von Wechselwirkungen mit der medikamentösen Einlage Ca(OH)_2 und damit die Entstehung eines „leakage“ (Margelos et al. 1997; Kim und Kim 2002).

Die Entfernung von Kalziumhydroxid wird normalerweise unter Verwendung verschiedener Spüllösungen in Kombination mit der Instrumentation mit endodontischen Feilen bis auf Arbeitslänge erreicht (Rödig et al. 2010a). Eingesetzte Spüllösungen sind in diesem Rahmen v.a. Kochsalzlösungen, Natriumhypochlorit, EDTA oder eine Kombination dieser Stoffe. Neben der Art der Spüllösung besitzt das Trägermedium, mit welchem das Kalziumhydroxid angemischt wurde, Einfluss auf die Entfernbarkeit. Im Gegensatz zu wässrigen Trägerstoffen führen visköse und ölige Lösungen zwar zu einer verlängerten Wirkungsdauer (Fava und Saunders 1999), erschweren in der Folge jedoch die Entfernung (Nandini et al. 2006).

Der alleinige Einsatz der Spüllösung NaOCl zeigte sich in verschiedenen Studien als nicht ausreichend zur Entfernung von Ca(OH)_2 und kann damit nicht als empfehlenswert angesehen werden (Kenee et al. 2006; Salgado et al. 2009). Spülungen mit Chelatoren in Form von EDTA oder Zitronensäure wiesen dagegen insbesondere bei der Kombination Ca(OH)_2 mit einem wässrigen Trägermedium bessere Reinigungsergebnisse auf (Salgado et al. 2009; Rödig et al. 2010a). Bei öligen Medien war eine 10%ige Zitronensäure dem EDTA überlegen (Nandini et al. 2006).

Die besten Reinigungsergebnisse konnten nach kombinierter Anwendung von Spüllösungen und einer zusätzlichen Instrumentation mit Feilen oder Ultraschallansätzen erzielt werden. In einer Studie von Kenee et al. (2006) konnte nachgewiesen werden, dass bei einer zusätzlichen Verwendung einer apikalen Masterfeile (MAF) oder eines Ultraschallsystems die Spülwirkung von NaOCl signifikant gesteigert werden konnte. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit einer Studie von Salgado et al. (2009), in der die Reinigungswirkung bei der Verwendung des Chelators EDTA in Kombination mit einer Rekapitulation mit einer MAF gegenüber einer alleinigen Spülung ebenfalls deutlich verbessert wurde.

Einschränkend muss jedoch angegeben werden, dass in allen genannten Studien eine komplette Entfernung von Ca(OH)_2 aus dem Wurzelkanalbereich nicht möglich war. Als positiv wird jedoch die Aktivierung der Spüllösung durch endodontische Instrumente gewertet, welches zu einer Aktivierung und Durchmischung der Spüllösung und damit zur Lösung der medikamentösen Einlage führte.

Dennoch konnte in einer Studie von Lambrianidis et al. (1999) nachgewiesen werden, dass 25 bis 45% der Wurzelkanaloberflächen mit Rückständen von Kalziumhydroxid nach einer Behandlung mit einer Spüllösung und/ oder Chelatoren in Kombination mit einer MAF bedeckt waren. Insbesondere in den apikalen Bereichen oder Isthmen führte die Entfernung zu einer lokalen Verdichtung des Ca(OH)_2 . Für eine gründliche Reinigung wurde aufgrund dessen vom Autor die Verwendung einer Patency-Feile empfohlen, um das Risiko eines Mikroleakages zu verringern.

Zu einem negativen Effekt auf die Wurzelkanalanatomie kann es jedoch bei einer übermäßigen Anwendung einer MAF zur Rekapitulation kommen. Goldberg et al. (2004) wiesen nach, dass es insbesondere in gekrümmten und engen Wurzelkanälen als Folge einer Blockade des Wurzelkanals durch verdichtetes Kalziumhydroxid zu Veränderungen im Wurzelkanalverlauf kommen kann. Eine Reduktion der Risiken von Wurzelkanalbegradigungen, Stufenbildungen, Überpräparationen, etc. kann jedoch mittels der Verwendung von rotierenden NiTi-Instrumenten erreicht werden (Kenee et al. 2006; Wiseman et al. 2011).

Untersuchungen zur Entfernung von Ca(OH)_2 mit verschiedenen Spültechniken führten u.a. van der Sluis et al. (2007a), Taşdemir et al. (2011) und Wiseman et al. (2011) durch. Van der Sluis et al. (2007a) wiesen in geraden Wurzelkanälen nach, dass die Reinigungswirkung bei der Verwendung eines passiven Ultraschallsystems (PUI) mit NaOCl deutlich gesteigert wurde gegenüber einer PUI mit Wasser bzw. einer manuellen Spülung mit NaOCl. In der Studie von Taşdemir et al. (2011) wurde ebenfalls in geraden Wurzelkanälen eine signifikante Überlegenheit einer PUI sowie einer CanalBrush™ gegenüber einer manuellen Spülung nachgewiesen. Eine weiterführende Studie unter der Verwendung gekrümmter Wurzelkanäle im Bereich von 20° bis 30° führten Wiseman et al. (2011) durch. Sie zeigten, dass eine Anwendung eines passiven Ultraschallsystems (PUI) innerhalb eines Spülprotokolls mit NaOCl und EDTA in einer besseren Reinigungswirkung resultierte als eine Verwendung des schallgestützten Systems EndoActivator®.

Die vorliegenden Studien wurden vordergründig unter dem Aspekt der Entfernung von Ca(OH)_2 mittels chemischer Substanzen oder in einer Kombination mit manuellen bzw. maschinellen Instrumenten durchgeführt. Eine Aussage über die rein mechanische Reinigungswirkung verschiedener Spültechniken steht zurzeit noch aus.

3 Ziele der Studie

Ziel der folgenden Studie war es, die Reinigungswirkung neuartiger und klassischer Spültechniken bei der Entfernung der medikamentösen Einlage Kalziumhydroxid aus gekrümmten Wurzelkanälen zu untersuchen. Der Schwerpunkt lag in der Analyse des apikalen und gekrümmten Wurzelkanalbereichs und der Abhängigkeit der Reinigungseffektivität von der Wurzelkanalkrümmung und dem Wurzelkanalradius.

In der Studie wurden nachstehende Spülsysteme verwendet:

- Die passive Ultraschallspülung (PUI) mit dem Piezon®Master 400
- Das hydrodynamische System RinsEndo®
- Das mechanische Reinigungssystem CanalBrush™
- Das schallaktivierte System EndoActivator®
- Die Spülung per Hand (Kontrollgruppe).

Folgende Fragestellungen wurden in der In-vitro-Studie an 100 extrahierten Unterkiefermolaren untersucht:

- Wie ist die Reinigungswirkung des jeweiligen Spülsystems im apikalen und gekrümmten Wurzelkanalbereich?
- Besteht eine Abhängigkeit der Reinigungswirkung des jeweiligen Spülsystems von dem Winkel der Wurzelkanalkrümmung?
- Besteht eine Abhängigkeit der Reinigungswirkung des jeweiligen Spülsystems von dem Radius der Wurzelkanalkrümmung?

4 Material und Methode

In der vorliegenden Studie wurde die Entfernung von Kalziumhydroxid aus gekrümmten Wurzelkanälen mittels fünf verschiedener Spültechniken untersucht. Es wurden die folgenden bereits vorgestellten Spültechniken und Spülsysteme verglichen:

1. Ultraschallsystem Piezon® Master 400,
2. RinsEndo®,
3. Plastikbürstchen CanalBrush™,
4. Schallaktivierter Polymerstab EndoActivator®,
5. Kontrollgruppe: Handspülung.

Für die Untersuchung wurden 100 extrahierte, humane Unterkiefermolaren verwendet. Auswahlkriterien für die Verwendung der Zähne in dieser Studie waren:

- abgeschlossenes Wurzelwachstum,
- Unversehrtheit des mesio-bukkalen Wurzelkanals (keine kariösen oder resorptiven Läsionen, keine Risse oder Frakturen, intakte Wurzelspitze),
- keine vorherige Wurzelkanalbehandlung,
- Krümmungswinkel von 20° bis 50°,
- Mindestzahnlänge von 19 mm.

4.1 Auswahl und Vorbereitung des Untersuchungsmaterials

Im Vorfeld der Studie wurden zunächst 135 ausgewählte Zähne trepaniert. Nach Darstellung des mesio-bukkalen Wurzelkanaleingangs wurde der entsprechende Wurzelkanal mit einem Reamer der ISO-Größe 10 (VDW, München, Deutschland) sondiert. Bei durchgängiger Instrumentierbarkeit des Wurzelkanals bis zum Apex wurde mit dem Ziel der Bestimmung des Krümmungswinkels ein analoges Röntgenbild angefertigt (Abbildung 9-1). Zu diesem Zweck wurde in den mesio-bukkalen Wurzelkanal ein Reamer der ISO-Größe 15 bis auf volle Wurzelkanallänge in den Wurzelkanal eingebracht. Die Digitalisierung der analogen Röntgenbilder geschah im Anschluss mit Hilfe eines CanoScan LIDE 200 (Canon, Krefeld, Deutschland).

Für den weiteren Versuchsablauf wurde die linguale Wurzelwand mit Hilfe einer Polierscheibe der Firma Sirona (Bensheim, Deutschland) im koronalen Bereich geglättet, um eine horizontale Auflagefläche zu schaffen. Des Weiteren wurden die extrahierten Zähne im

okklusalen Bereich mittels der Polierscheibe auf eine Gesamtlänge von 19 mm gekürzt sowie die distale Wurzel mit einer Trennscheibe (Brasseler, Lemgo, Deutschland) abgetrennt.

Die Bestimmung der Krümmungswinkel (siehe Abbildung 4-1 links) erfolgte mit Hilfe des Programms Sidexis (Sirona, Bensheim, Deutschland) in Anlehnung an die Klassifizierungsrichtlinien nach Pruett et al. (1997) (vergleiche Kapitel 2.2, S. 5). Mit der Option „Winkelvermessung“ wurde in die Mitte des Schafts des Reamers die koronale Hypotenuse (rot) gelegt sowie in den apikalen Arbeitsteil die Ankathete (gelb). Der resultierende Winkel (orange) wurde über das Programm Sidexis errechnet. Die Bestimmung des Krümmungsradius (Abbildung 4-1 rechts) erfolgte ebenfalls mit Hilfe des Programms Sidexis unter Verwendung der nach Pruett et al. (1997) beschriebenen Methode. Zu diesem Zweck wurde in die Krümmung der Zahnwurzel unter tangentialem Kontakt der Ankathete und der Hypotenuse ein Kreis gelegt und der Radius gemessen. Die Ergebnisse der Winkel- und Radiusmessung wurden auf eine Nachkommastelle begrenzt.

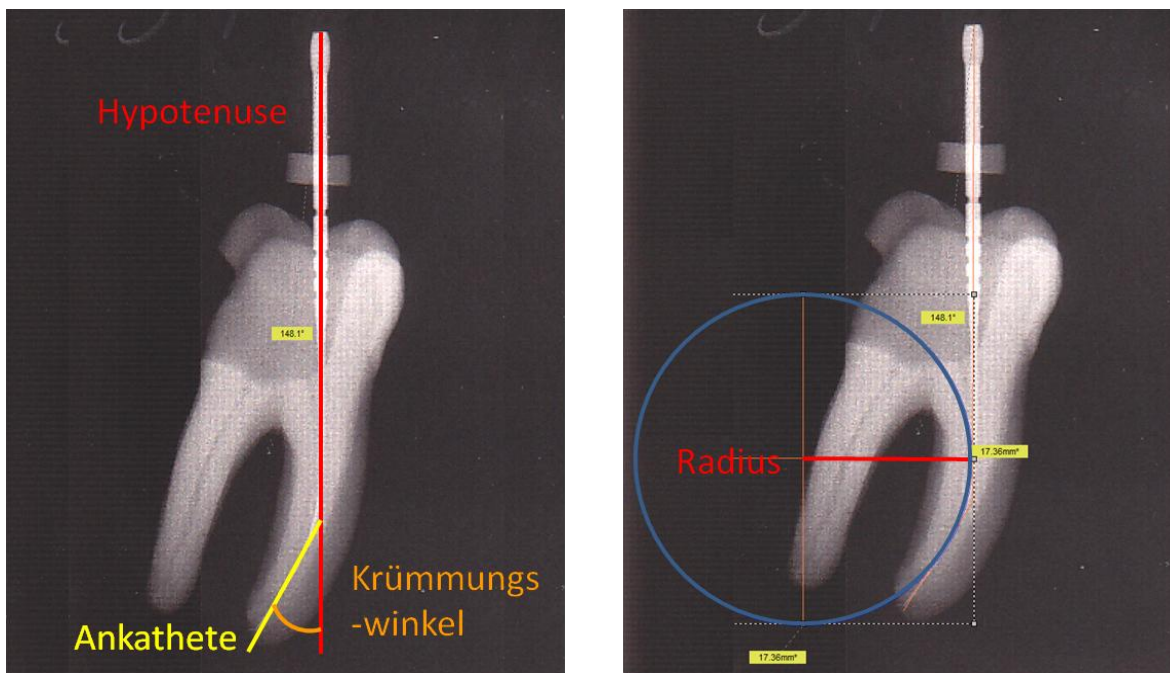


Abbildung 4-1: links: Methode zur Bestimmung des Krümmungswinkels; rechts: Methode zur Bestimmung des Krümmungsradius

100 Zähne erfüllten die genannten Auswahlkriterien und konnten für die Studie verwendet werden.

4.2 Präparation der Zähne

Für die vorliegende Studie wurde ausschließlich der mesio-bukkale Wurzelkanal verwendet. Die Präparation erfolgte mit dem FlexMaster-System der Firma VDW (München, Deutschland) bis zu der Größe 02/35 in der Crown-Down-Technik. Aufgrund der standardisierten Gesamtlänge von 19 mm wurde eine einheitliche Arbeitslänge von 18 mm festgelegt.

Der Austausch der Präparationsinstrumente erfolgte entsprechend den Herstellerangaben nach achtmaligem Gebrauch.

Während der Präparation wurde nach jedem Gebrauch einer Feile eine Spülung per Hand mit 2 ml destilliertem Wasser durchgeführt. Auf die Verwendung verschiedener, klinisch üblicher Spüllösungen und Chelatoren wurde verzichtet, um eine objektive Untersuchung der verschiedenen Spültechniken hinsichtlich ihrer Reinigungseffizienz unter Ausschluss möglicher weiterer Einflussfaktoren durchführen zu können. Alle Spülungen erfolgten mit einer 2-ml-Spritze mit einer Nadel der ISO-Größe 30 (NaviTip 30 Gauge, Ultradent, München). Die Spülungen wurden manuell durchgeführt, um eine gleichmäßige Spülmenge garantieren zu können. Die Spülnadel wurde in Abhängigkeit vom Krümmungsgrad und Krümmungsradius so tief wie möglich in den Wurzelkanal eingebracht, ohne jedoch Wandkontakt herzustellen oder eine maximale Spültiefe von 16 mm zu überschreiten.

Abschließend wurde der mesio-bukkale Wurzelkanal mit Papierspitzen der ISO-Größe 30 getrocknet. Nach Vollendung der vorbereitenden Präparation erfolgte die Aufteilung der präparierten Zähne randomisiert in fünf verschiedene Gruppen. Um einen einheitlichen mittleren Krümmungswinkel zu erzielen, wurden einzelne Zähne zwischen den Gruppen ausgetauscht, bis der mittlere Krümmungswinkel in allen 5 Gruppen zwischen 25° und 30° lag.

4.3 Insertion der medikamentösen Einlage

Die Insertion der medikamentösen Einlage, des Kalziumhydroxidpräparats Calxyl® Blau (OCO Präparate GmbH, Dirmstein/Pfalz, Deutschland), erfolgte mit Hilfe des Instruments Pasteinject (Micro-Mega, Besançon, Frankreich) der ISO-Größe 35. In Studien von Oztan et al. (2002) und Deveaux et al. (2000) hatte sich das Instrument Pasteinject als besonders geeignetes Instrument zur Applikation von Kalziumhydroxid in den Wurzelkanal gezeigt. Eine gleichmäßige Verteilung des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ im Wurzelkanal wurde angestrebt und mit einer Röntgenkontrollaufnahme hinsichtlich einer homogenen Strukturverteilung überprüft (siehe Abbildung 9-2). Gegebenenfalls wurde der Applikationsvorgang wiederholt. Der Kanaleingang wurde nach erfolgter positiver röntgenologischer Überprüfung mit Cavit® (3M ESPE, Neuss, Deutschland) in einer Schichtstärke von ca. 2 mm verschlossen.

4.4 Verwendete Aktivierungsgeräte

4.4.1 Passive Ultraschallspülung mit dem Piezon® Master 400

Für die ultraschallaktivierte Spülung wurde das Gerät Piezon® Master 400 (EMS, Nyon, Schweiz) verwendet. Der Frequenzbereich lag bei 28 bis 32 kHz. In das Handstück wurde für den Spülvorgang eine endodontische Feile der ISO-Größe 15 eingesetzt, welche nach 5 maliger Verwendung ausgewechselt wurde. Die endodontische Feile wurde entsprechend der Wurzelkanalanatomie vorgebogen und die Arbeitslänge mit einem Längenstop bei 16 mm

markiert. Die Spülmenge von 3,1 ml destilliertem Wasser für einen Aktivierungszeitraum von 30 Sekunden wurde nach mehreren Probedurchläufen mittels eines Drehschalters am Gerät festgelegt.

4.4.2 Hydrodynamische Spülung mit RinsEndo®

Das Gerät RinsEndo® (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland) wurde für die Untersuchung der hydrodynamischen Spüleigenschaften eingesetzt. Den Herstellerangaben entsprechend wurde das Gerät an eine Behandlungseinheit der Firma Sirona angeschlossen und mit einer Druckluftversorgung von 3,5 bar versorgt. Aufgrund der vom Hersteller festgesetzten Durchflussmenge von 6,2 ml/min wurde für die 30 Sekunden lange Aktivierung jeweils eine 5-ml-Luer-Spritze mit 3,1 ml destilliertem Wasser auf das RinsEndo®-Gerät aufgesetzt. Nach der Positionierung des Protectors auf eine Arbeitslänge von 16 mm erfolgte die Spülung entsprechend dem Spülprotokoll.

4.4.3 Mechanisch-aktivierte Spülung mit der CanalBrush™

Die CanalBrush™ (Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland) wurde für die rotierend mechanische Wurzelkanalreinigung angewandt. Das Polypropylen-Bürstchen wurde mit dem HG-Schaft in ein Winkelstück inseriert und mit einer konstanten Umdrehungszahl von 600 Umin⁻¹ betrieben. Die Arbeitslänge von 16 mm wurde mittels eines Längenstops auf dem Bürstchen festgelegt. Die Anwendung im Wurzelkanal erfolgte ohne Kraftaufwendung und unter zusätzlicher manueller Applikation von 3,1 ml destilliertem Wasser pro Spülvorgang. Die Auswechslung der Bürstchen wurde nach Absolvierung des jeweiligen Spülprotokolls vorgenommen.

4.4.4 Schallaktivierte Spülung mit dem EndoActivator®

Für die schallaktivierte Spülung wurde der EndoActivator® (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, USA) verwendet. Die Einstellung des batteriebetriebenen Handstücks erfolgte auf eine Leistung von 10000 cpm (cycles per minute) in Kombination mit einem Aktivator-Tip der Größe S (15/02). Die Arbeitslänge wurde anhand der Längenmarkierungen auf 16 mm eingestellt. Die Aktivator-Tips wurden als Einmalartikel verwendet und dementsprechend nach der Durchführung eines Spüldurchgangs ausgewechselt. Während des jeweiligen Spülvorgangs wurden mit einer 5-ml-Luer-Lock-Spritze 3,1 ml destilliertes Wasser manuell appliziert.

4.4.5 Manuelle Spülung (Kontrollgruppe)

Die manuelle Applikation der Spüllösung erfolgte über die Verwendung einer 5-ml-Einmalspritze, die mit einer Navi-Tip-Spülnadel (Ultradent, München, Deutschland) der ISO-Größe 30 (30 Gauge= 0,3 mm äußerer Durchmesser) kombiniert wurde. Die Arbeitslänge wurde mittels eines Längenstopps auf 16 mm festgelegt. Die Insertion der Spülnadel erfolgte unter Vermeidung von Wandkontakt. Für die Umsetzung eines konstanten Flüssigkeitsstroms während der 30 Sekunden andauernden Spülphase wurden 3,1 ml destilliertes Wasser in die Spritze aufgezogen und die Applikationszeit gestoppt.

4.5 Versuchsdurchführung

Die 100 willkürlich in fünf Gruppen aufgeteilten Zähne wurden für sieben Tage bei 37°C Lufttemperatur und 100% Luftfeuchtigkeit (destilliertes Wasser) in einem Inkubator (Inkubator KBF 115, Binder GmbH, Tuttlingen, Deutschland) gelagert. Anschließend wurde in Vorbereitung für die Versuchsdurchführung das Cavit® im Bereich des Wurzelkanaleingangs entfernt und jede Versuchsgruppe mit dem entsprechenden Spülssystem gespült.

4.6 Versuchsgruppen

Im Folgenden werden die Gruppen mit dem dazugehörigen Spülprotokoll detailliert dargestellt:

1. Gruppe Ultraschallgerät EMS Piezon® Master 400 (Electro Medical Systems, Nyon, Schweiz)
 20 Zähne

Spülprotokoll

1. Vorbereitung des Geräts

→ Einstellen einer Durchflussmenge von ca. 3,1 ml pro 30-Sek.-Zyklus; anschließend Befüllung des Spülflüssigkeitsbehälters mit 3,1 ml destilliertem Wasser

2. Einstellen des EMS Piezon® Master 400 auf eine Spültiefe von maximal 16 mm, maximale Einführtiefe bis Wandkontakt

3. Reinigung des Wurzelkanals über 10 Hub- und Senkbewegungen mit einer Amplitude von 2 bis 3 mm in vertikaler Richtung pro 30-Sek.-Zyklus

4. Wiederholung von 6 x 30-Sek.-Zyklen

5. Abschlusspülung mit 3 ml destilliertem Wasser (Handspülung)

2. Gruppe RinsEndo® (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen, Deutschland)
 20 Zähne

Spülprotokoll

1. Vorbereitung des Geräts

→ Einstellen einer Durchflussmenge von ca. 3,1 ml pro 30-Sek.-Zyklus unter

Verwendung einer konventionellen 5-ml-Einmalspritze mit 3,1 ml destilliertem Wassers

2. Einstellen des RinsEndo®-Systems auf eine Spültiefe von maximal 16 mm, maximale Einführtiefe bis Wandkontakt

3. Reinigung des Wurzelkanals mit 10 Hub- und Senkbewegungen im Bereich von 2 bis 3 mm pro 30-Sek.-Zyklus

4. Wiederholung von 6 x 30-Sek.-Zyklen

5. Abschlussspülung mit 3 ml destilliertem Wasser (Handspülung)

3. Gruppe Canal Brush™ (Coltène/Whaledent Inc.; Cuyahoga Falls, Ohio ,USA)
20 Zähne

Spülprotokoll

1. Insertion von 3,1 ml destilliertem Wasser in den Wurzelkanal mit einer 5-ml-Einmalspritze

2. Einstellen der Canal-Brush™ auf eine Spültiefe von maximal 16 mm, Einstellen einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 600 rpm

3. Reinigung des Wurzelkanals mit 10 Hub- und Senkbewegungen im Bereich von 2 bis 3 mm pro 30-Sek.-Zyklus

4. Wiederholung von 6 x 30-Sek.-Zyklen

5. Abschlussspülung mit 3 ml destilliertem Wasser (Handspülung)

4. Gruppe EndoActivator® (Dentsply Tulsa Dental; Tulsa, Oklahoma, USA)
20 Zähne

Spülprotokoll

1. Insertion von 3,1 ml destilliertem Wasser in den Wurzelkanal mit einer 5-ml-Einmalspritze

2. Einstellen des EndoActivators® auf eine Spültiefe von maximal 16 mm, Einstellen einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 10000 rpm

3. Reinigung des Wurzelkanals mit 10 Hub- und Senkbewegungen im Bereich von 2 bis 3 mm pro 30-Sek.-Zyklus

4. Wiederholung von 6 x 30-Sek.-Zyklen

5. Abschlussspülung mit 3 ml destilliertem Wasser (Handspülung)

5. Gruppe Handspülung (Kontrollgruppe)
20 Zähne

Spülprotokoll

1. Vorbereitung einer konventionellen 5-ml-Einmalspritze mit 3,1 ml destilliertem Wasser mit einer stumpfen Einmalkanüle

2. Einstellen der stumpfen Einmalkanüle auf eine Spültiefe von maximal 16 mm, maximale Einführtiefe bis Wandkontakt

3. Reinigung des Wurzelkanals mit 10 Hub- und Senkbewegungen im Bereich von 2 bis 3 mm pro 30-Sek.-Zyklus

4. Wiederholung von 6 x 30-Sek.-Zyklen

5. Abschlussspülung mit 3 ml destilliertem Wasser (Handspülung)

4.7 Aufbereitung der Präparate unter dem Mikroskop

Die präparierten mesio-bukkalen Wurzelkanäle wurden nach durchgeführter Abschlussspülung mit einem Guttapercha-Stift der ISO-Größe 30 bis auf Arbeitslänge bestückt. Nach der Fixierung des Guttapercha-Stiftes mit apikaler Klemm-Passung wurde die mesio-bukcale Wurzel von der vestibulären als auch der lingualen Wurzelseite mit einer Trennscheibe (Brasseler, Lemgo, Deutschland) eingekerbt, ohne jedoch den Wurzelkanal zu perforieren. Ziel des Einbringens des Guttapercha-Stiftes war es, den Wurzelkanal bei der Auftrennung zu visualisieren und das Eindringen von Schleifrückständen zu verhindern.

Es erfolgte eine Spaltung des mesio-bukkalen Wurzelkanals entlang des präparierten Schlitzes mit Hilfe eines Le Cron-Modellierinstrumentes (Zepf Instruments Germany, Tuttlingen, Deutschland).

Grundlage für die Auswertung waren zwei Wurzelkanalpräparate: ein mesialer und ein distaler Wurzelanteil. Diese Form der Präparate gestattete die Bewertung der Innen- und Außenkurvatur des mesio-bukkalen Wurzelkanals.

4.8 Auswertung

Ziel der Auswertung waren der Vergleich und die Bewertung von verbliebenem Kalziumhydroxid nach erfolgter Spülung mit den fünf genannten Spülsystemen. Es wurde ein modifiziertes Scoresystem angewandt, welches auf den Bewertungsmaßstäben von Lambrianidis et al. (2006) beruhte.

Das angewandte Scoresystem umfasste die folgenden Einteilungen:

- 0 = kein Ca(OH)_2 vorhanden,
- 1 = wenige, kleine Ca(OH)_2 -Reste, weniger als 50% der Wurzelkanalwand sind mit Ca(OH)_2 bedeckt,
- 2 = zahlreiche Ca(OH)_2 -Reste, weniger als 50% der Wurzelkanalwand sind mit Ca(OH)_2 bedeckt,
- 3 = mehr als 50% der Wurzelkanalwand sind mit Ca(OH)_2 bedeckt,
- 4 = die gesamte Wurzelkanalwand ist mit Ca(OH)_2 bedeckt.

Zur Veranschaulichung wird das Scoresystem anhand von vergrößerten Beispielbildern in Abbildung 4-2 dargestellt.



Score 0: kein Ca(OH)_2 vorhanden



Score 1: wenige, kleine Ca(OH)_2 -Reste, weniger als 50% der Wurzelkanalwand sind mit Ca(OH)_2 bedeckt



Score 2: zahlreiche Ca(OH)_2 -Reste, weniger als 50% der Wurzelkanalwand sind mit Ca(OH)_2 bedeckt



Score 3: mehr als 50% der Wurzelkanalwand sind mit Ca(OH)_2 bedeckt



Score 4: die gesamte Wurzelkanalwand ist mit Ca(OH)_2 bedeckt

Abbildung 4-2: Beispiele für die Bewertungsscores 0 bis 4 (W = Wurzelkanal)

Die Bewertung der Präparate erfolgte unter einem Auflichtmikroskop (MOTIC Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland) bei 30facher Vergrößerung. Die Bildaufnahme der Präparate wurde mit der kompatiblen Digitalkamera Moticam 1300 (Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland) mit einer Bildauflösung von 1,3 Megapixel durchgeführt.

Die Bewertung der Präparate wurde von zwei auf das Scoresystem kalibrierten Zahnärzten (Reader 1 und 2) durchgeführt.

4.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Computer-Programms SAS Version 9.2 durchgeführt. Die Erstellung der Grafiken erfolgte mit den Programmen Statistika 10.0 und Microsoft Office Excel 2007.

Die Bewertung der Reproduzierbarkeit, welche aufgrund der doppelten Auswertung durch zwei Reader überprüft wurde, wurde mit Hilfe der Cohen Kappa(κ)-Methode durchgeführt. Im Rahmen der intra- und interindividuellen Reliabilität stellt κ ein Maß der statistischen Reproduzierbarkeit dar. Kommt es zu einer Übereinstimmung der Reader in jedem Punkt, resultiert daraus ein κ -Wert von 1. Ein κ -Wert von $> 0,75$ lässt auf eine gute Reproduzierbarkeit schließen (Fleiss 1981).

Für die Auswertung der Hauptversuche wurden nichtparametrische Analyseverfahren verwendet, da der Endpunkt ein Score und somit die Annahme der Normalverteilung nicht vertretbar ist (Brunner et al. 2002). Im Detail wurden Makros für longitudinale Daten der Abteilung Medizinische Statistik der Universitätsmedizin Göttingen angewendet (Abteilung Medizinische Statistik, Universitätsmedizin Göttingen 2012).

Des Weiteren wurden Post-Hoc Paarvergleiche für die Spültechniken in Abhängigkeit von Lokalisation durchgeführt. Eine Adjustierung erfolgte über die Bonferroni-Methode (StatSoft® 2012). Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha=0,05$ festgelegt.

Die Aufteilung der Gruppen in Relation zu den durchschnittlichen Wurzelkanalkrümmungswerten und zu den durchschnittlichen Wurzelkanalradien erfolgte durch Randomisierung.

5 Ergebnisse

5.1 Modell

Dieser Studie lag ein longitudinales fünf-faktorielles Design zugrunde.

In fünf Behandlungsgruppen wurde zunächst jeder Zahn in zwei Wurzelhälften mit jeweils zwei Lokalisationen unterteilt. Die Auswertung erfolgte durch zwei Reader in zwei Auswertungsdurchgängen. Demnach liegen zu jedem Zahn 16 Messungen vor. Diese Messungen können nicht als unabhängig angesehen werden, da sie nicht von unterschiedlichen Zähnen stammen.

Folgende Faktoren wurden in dem Modell berücksichtigt:

- Gruppe: 1 / 2 / 3 / 4 / 5 (siehe Kapitel 4.6, S. 30 bis 32),
- Wurzelhälfte: mesial / distal,
- Lokalisation: Apex / Krümmung,
- Reader: 1 / 2,
- Auswertungsdurchgang 1. Durchgang / 2. Durchgang.

5.2 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Für die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurde die Reliabilität für die Faktoren Reader und Durchlauf bestimmt, welche sich in dem Wert κ widerspiegelte.

5.2.1 Intraindividuelle Reproduzierbarkeit

Die Überprüfung der intraindividuellen Reproduzierbarkeit wurde jeweils anhand der Ergebnisse von Reader 1 und Reader 2 durch Berechnung von Cohens κ -Wert ermittelt.

Der κ -Wert von Reader 1 beträgt 0,90, der κ -Wert von Reader 2 0,92. Nach Fleiss' s „*equally arbitrary guidelines*“ kann bei einem κ -Wert von $>0,75$ von einer exzellenten Reproduzierbarkeit ausgegangen werden (Fleiss 1981).

5.2.2. Interindividuelle Übereinstimmung

Bei der Überprüfung der interindividuellen Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertern wurden die Ergebnisse von Reader 1 mit den Ergebnissen von Reader 2 in beiden Auswertungsdurchläufen miteinander verglichen. Die resultierenden κ -Werte liegen zwischen 0,75 und 0,83. Infolge dessen kann ebenfalls von einer guten interindividuellen Übereinstimmung der beiden Bewerter ausgegangen werden.

5.3 Fragestellungen

Der Auswertung der Ergebnisse liegen folgende Fragestellungen zugrunde:

- | | |
|---|--|
| a) Gruppe: | Unterscheiden sich die fünf Gruppen? |
| b) Wurzelhälfte: | Unterscheiden sich die beiden Wurzelhälften? |
| c) Lokalisation: | Unterscheiden sich die beiden Lokalisationen? |
| d) Gruppe/ Wurzelhälfte: | Wirken die Spülsysteme gleich in beiden Wurzelhälften? |
| e) Gruppe/ Lokalisation: | Wirken die Spülsysteme gleich in beiden Lokalisationen? |
| f) Wurzelhälfte/
Lokalisation: | Gibt es einen Unterscheid in der Spülwirkung im Bereich der Wurzelhälften in Relation zu der Lokalisation? |
| g) Gruppe/ Wurzelhälfte/
Lokalisation: | Ist der Gruppeneffekt abhängig von der Wurzelhälfte und der Lokalisation? |

5.4 Ergebnisse des Hauptversuchs

Infolge der hohen intra- und interindividuellen Reliabilität der Faktoren Reader und Durchgang konnte von einer hohen Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ausgegangen werden. Alle Werte der verschiedenen Untersuchungsdurchgänge und Readeranalysen wurden demnach in die Auswertung mit einbezogen und als Messwiederholungen modelliert. Für den Hauptversuch wurden die in Kapitel 4.9 genannten Analyseverfahren angewendet.

In Tabelle 5-1 sind die Effekte der Untersuchungen sowie die resultierenden p-Werte zusammengefasst. Ein Effekt kann als signifikant angesehen werden, wenn $p < \alpha$ ist ($= p < 0,05$). Die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Haupteffekt ($p \leq 0,001$) für die Spülgruppen als auch für die Lokalisationen vorliegt. Im Vergleich dazu ist der Haupteffekt der Wurzelhälfte ($p = 0,81$) nicht signifikant. Eine weitere signifikante Wechselwirkung lässt sich für die Faktoren Lokalisation/Wurzelhälfte nachweisen ($p = 0,02$) (Abbildung 9-3). Aufgrund dieser Wechselwirkung erfolgt zusätzlich eine Aufschlüsselung der Analyse nach der Wurzelhälfte (mesial / distal).

Tabelle 5-1: Effekte der untersuchten Faktoren

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Wurzelhälfte	0,81	Nicht signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,07	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,95	Nicht signifikant
Lokalisation*Wurzelhälfte	0,02	Signifikant
Gruppe*Lokalisation*Wurzelhälfte	0,86	Nicht signifikant

Für die **mesiale Wurzelhälfte** zeigt Tabelle 5-2, dass sowohl ein Gruppen- als auch ein Lokalisationseffekt ($p \leq 0,001$) besteht (Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2). Eine signifikante Wechselwirkung der Faktoren Gruppe / Lokalisation liegt nicht vor.

Tabelle 5-2: Effekte für die mesiale Wurzelhälfte

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,11	Nicht signifikant

Nach Adjustierung mit der Bonferroni-Methode zeigen die Ergebnisse der Paarvergleiche für die mesiale Wurzelhälfte, also die Außenseite der Krümmung, dass es zwischen den Gruppen Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und Endo-Activator® (Gruppe 4) keine signifikanten Unterschiede gibt. Lediglich die Spülung per Hand (Gruppe 5) zeigt gegenüber den Spülgruppen 1 bis 4 ein signifikant schlechteres Reinigungsergebnis (Abbildung 5-1).

Die Ergebnisse der Gruppenanalyse zeigen, dass Ultraschall mit einem Score-Wert von 0,99 im Mittel die mesiale Wurzelhälfte am effektivsten reinigt. RinsEndo® erzielt einen Durchschnittswert von 1,06, die CanalBrush™ einen Wert von 1,13, gefolgt vom EndoActivator® mit einem Score-Wert von 1,19. Die Handspülung erreicht mit einem Wert von 1,75 das schlechteste Reinigungsergebnis.

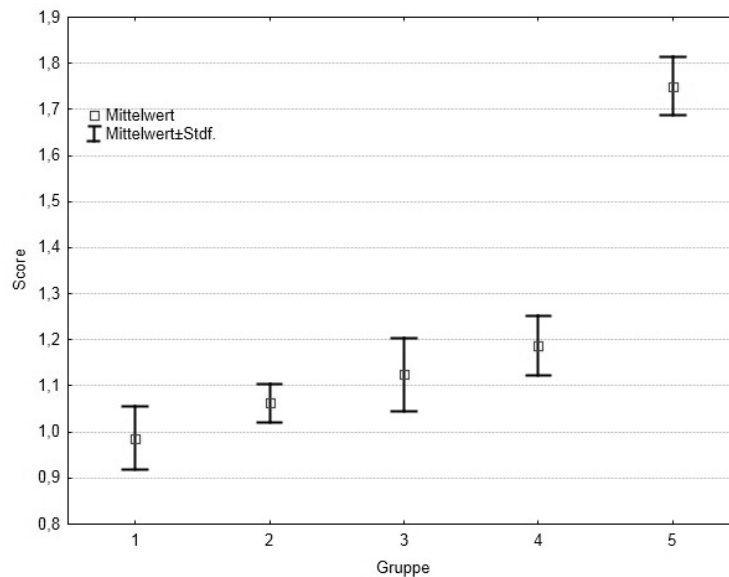


Abbildung 5-1: Unterschiede zwischen den Gruppen in der mesialen Wurzelhälfte

Der Reinigungseffekt ist in der mesialen Wurzelhälfte im Bereich des Apex mit einem Durchschnitts-Score von 1,41 deutlich geringer, als im Bereich der Krümmung. Hier wird ein Wert von 1,05 erzielt (Abbildung 5-2).

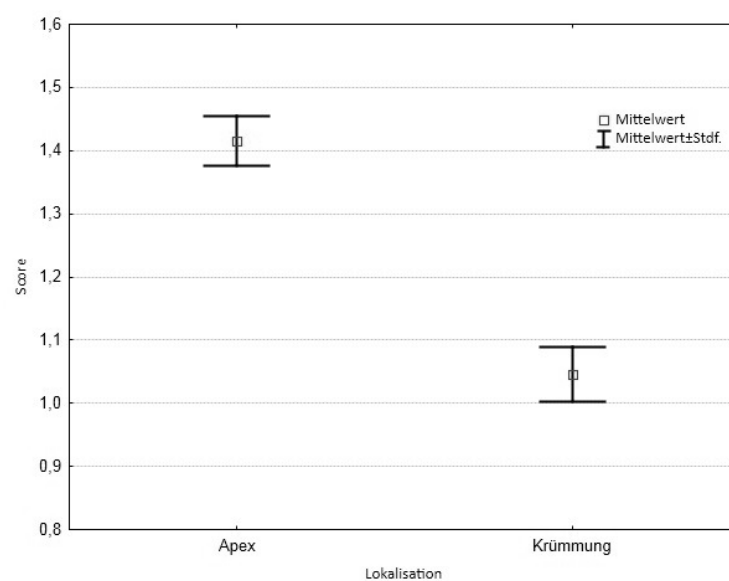


Abbildung 5-2: Einfluss der Lokalisation in der mesialen Wurzelhälfte

Die Ergebnisse für die **distale Wurzelhälfte** zeigen, dass, wie in der mesialen Wurzelhälfte, ein Gruppeneffekt und ein Lokalisationseffekt ($p \leq 0,001$) vorliegen (Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4). Die Faktoren Gruppe / Lokalisation zeigen erneut keine signifikante Wechselwirkung (Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: Effekte für die distale Wurzelhälfte

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,32	Nicht signifikant

Die Paarvergleiche für die distale Wurzelhälfte, also die Innenseite der Krümmung, zeigen, dass es zwischen Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und dem EndoActivator® (Gruppe 4) keine signifikanten Unterschiede in der Reinigungswirkung gibt. Die Spülung per Hand (Gruppe 5) schneidet gegenüber den Spülgruppen 1 bis 4 signifikant schlechter ab (Abbildung 5-3).

Die Ergebnisse der Gruppenanalyse zeigen, dass Ultraschall mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,95 die distale Wurzelhälfte am besten spült. Die CanalBrush™ erhält einen Durchschnittswert von 1,05, RinsEndo® einen Wert von 1,06, gefolgt vom EndoActivator® mit einem Score-Wert von 1,08. Die Handspülung weist mit einem Score-Wert von 1,79 erneut das schlechteste Reinigungsergebnis auf.

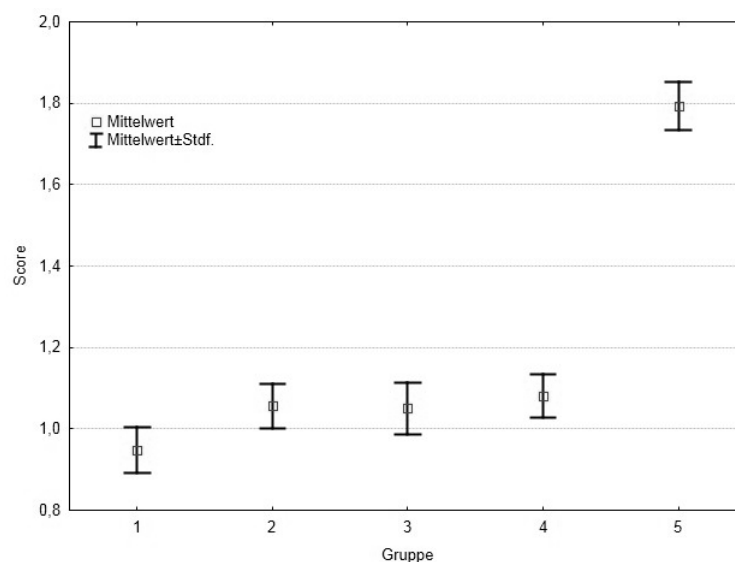


Abbildung 5-3: Unterschiede zwischen den Gruppen in der distalen Wurzelhälfte

Mit einem Durchschnitts-Score-Wert von 1,50 liegt in der distalen Wurzelhälfte der Reinigungseffekt im Bereich des Apex deutlich niedriger als im Bereich der Krümmung, wo ein Wert von 0,89 erzielt wird (Abbildung 5-4).

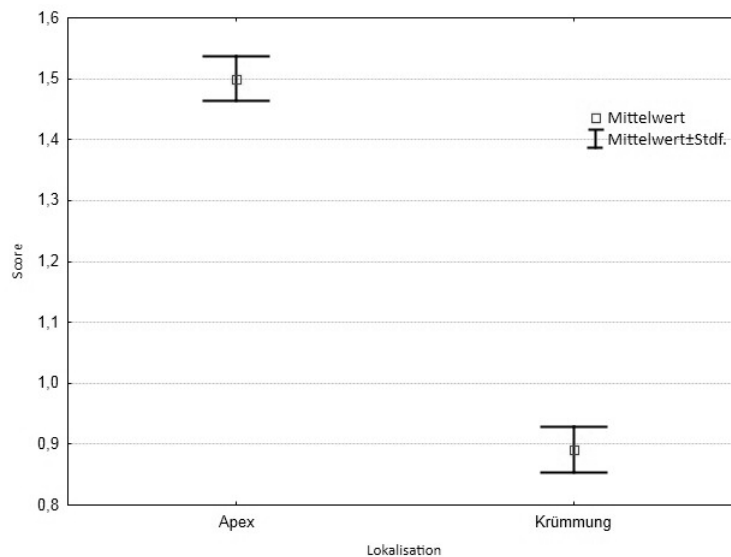


Abbildung 5-4: Einfluss der Lokalisation in der distalen Wurzelhälfte

Die eingangs gestellten Fragen lassen sich wie folgt beantworten:

- *Unterscheiden sich die Gruppen?*

Es liegt ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen 1 bis 5 vor; der Reinigungseffekt variiert abhängig von der Spültechnik. Die Gruppen 1 bis 4 weisen untereinander in den mesialen und distalen Wurzelhälften keine signifikanten Reinigungsunterschiede auf und können infolgedessen als gleichwertig angesehen werden, wohingegen die Spülung per Hand signifikant schlechter abschneidet.

In der Tabelle 5-4 sind die Spültechniken mit ihren durchschnittlichen Score-Werten in aufsteigender Reihenfolge beginnend mit dem besten Reinigungsergebnis dargestellt.

Tabelle 5-4: Deskriptiver Vergleich der Spülgruppen

	Mesiale Wurzelhälfte		Distale Wurzelhälfte	
	Spültechnik	Ø Score-Wert	Spültechnik	Ø Score-Wert
1	Ultraschall	0,99	Ultraschall	0,95
2	RinsEndo®	1,06	CanalBrush™	1,05
3	CanalBrush™	1,13	RinsEndo®	1,06
4	EndoActivator®	1,19	EndoActivator®	1,08
5	Handspülung	1,75	Handspülung	1,79

- *Unterscheiden sich die Wurzelhälften?*

Die Auswertung für den Faktor Wurzelhälfte weist keine Signifikanzen auf. Die Wurzelhälfte zeigt damit keinen Einfluss auf die Reinigungswirkung einer Spültechnik.

- *Unterscheiden sich die beiden Lokalisationen?*

Der Faktor Lokalisation zeigt einen signifikanten Einzeleffekt für die Bereiche Apex und Krümmung, welches auf eine unterschiedliche Reinigungswirkung in diesen Arealen schließen lässt. Der apikale Bereich weist in beiden Wurzelhälften eine deutliche höhere Verunreinigung mit Kalziumhydroxid auf als der gekrümmte Bereich. Die durchschnittlichen Score-Werte sind in der Tabelle 5-5 dargestellt.

Tabelle 5-5: Deskriptiver Vergleich der Lokalisationen

	Mesiale Wurzelhälfte		Distale Wurzelhälfte		Mesiale + distale Wurzelhälfte	
	Lokalisation	Ø Score-Wert	Lokalisation	Ø Score-Wert	Lokalisation	Ø Score-Wert
1	Krümmung	1,05	Krümmung	0,89	Krümmung	0,97
2	Apex	1,41	Apex	1,50	Apex	1,46

- *Wirken die Spülsysteme in beiden Wurzelhälften gleich?*

Die Auswertung im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Spültechnik und Wurzelhälfte weist keine Wechselwirkung auf. Mit einem p-Wert von 0,07 liegt dieser Wert zwar nur knapp oberhalb des Signifikanzniveaus von $\alpha = 0,05$, jedoch kann damit eine Abhängigkeit der Spülwirkung von der Wurzelhälfte (mesial/ distal) vernachlässigt werden.

- *Wirken die Spülsysteme gleich in beiden Lokalisationen (Apex/ Krümmung)?*

Für eine Wechselwirkung zwischen Spültechnik und Lokalisation gibt die Auswertung keine Anhaltspunkte. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Spültechniken in der Lokalisation Krümmung und Apex jeweils die gleichen Spülwirkungen besitzen.

- *Gibt es einen Unterschied in der Spülwirkung im Bereich der Wurzelhälften in Relation zu der Lokalisation?*

Zwischen der Wurzelhälfte (mesial/ distal) und der Lokalisation (Apex/ Krümmung) ist eine signifikante Wechselwirkung zu erkennen, welche in der distalen Wurzelhälfte eine deutlichere Ausprägung als in der mesialen Wurzelhälfte findet. Dies resultiert jeweils in einer schlechteren Reinigungswirkung im apikalen Wurzelbereich als in der Krümmung.

- *Ist der Gruppeneffekt abhängig von der Wurzelhälfte und der Lokalisation?*

Die gemeinsame Analyse dieser drei Faktoren weist mit einem p-Wert von 0,86 keine Signifikanz auf. Eine Abhängigkeit der Spültechnik auf die Wurzelhälfte und die Lokalisation liegt damit nicht vor.

5.5 Ergebnisse in Abhängigkeit von der Wurzelkanalkrümmung

Im weiteren Untersuchungsverlauf wurde überprüft, ob eine Abhängigkeit zwischen dem Reinigungseffekt und der Wurzelkanalkrümmung (vergleiche Kapitel 4.1, S. 27) vorliegt. Um diese Analyse durchzuführen, wurden zwei Wurzelkrümmungsbereiche definiert. Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30° wurden als schwache Krümmung eingestuft, Krümmungen mit 30° bis 50° als starke Krümmungen eingeordnet.

5.5.1 Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Die Analyse der Ergebnisse für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30° zeigt, dass ein Gruppeneffekt und ein Lokalisationseffekt ($p < 0,001$) vorliegen (Tabelle 5-6 sowie Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6). Ein Haupteffekt für die Wurzelhälfte existiert nicht.

Eine signifikante Wechselwirkung kann für die Faktoren Lokalisation / Wurzelhälfte nachgewiesen werden (Abbildung 9-4). Aufgrund dieser Wechselwirkung erfolgt die Aufschlüsselung nach den Wurzelhälften mesial / distal.

Tabelle 5-6: Effekte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Wurzelhälfte	0,64	Nicht signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,68	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,27	Nicht signifikant
Lokalisation*Wurzelhälfte	0,03	Signifikant
Gruppe*Lokalisation*Wurzelhälfte	0,98	Nicht signifikant

Die Untersuchung der Ergebnisse der **mesialen Wurzelhälfte** für den Krümmungsbereich von 20° bis 30° zeigt einen signifikanten Haupteffekt für die Faktoren Gruppe und Lokalisation (Tabelle 5-7). Eine Wechselwirkung für die Faktoren Gruppe / Lokalisation liegt nicht vor.

Tabelle 5-7: Effekte in der mesialen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	0,015	Signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,39	Nicht signifikant

Die Paarvergleiche zeigen, dass die Handspülung (Gruppe 5) in Relation zu Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und EndoActivator® (Gruppe 4) eine signifikant geringere Reinigungswirkung erreicht. Die Gruppen 1 bis 4 weisen untereinander keine signifikanten Unterschiede auf (Abbildung 5-5).

Den besten Spüleffekt für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30° erreicht der EndoActivator® mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,96. RinsEndo® erzielt mit einem Wert von 0,97 ein annähernd gutes Ergebnis. Die CanalBrush™ erhält einen Score-Wert von 1,08, Ultraschall einen Wert von 1,18. Den niedrigsten Score-Wert mit 1,63 und den entsprechend schlechtesten Reinigungseffekt erzielt die Handspülung.

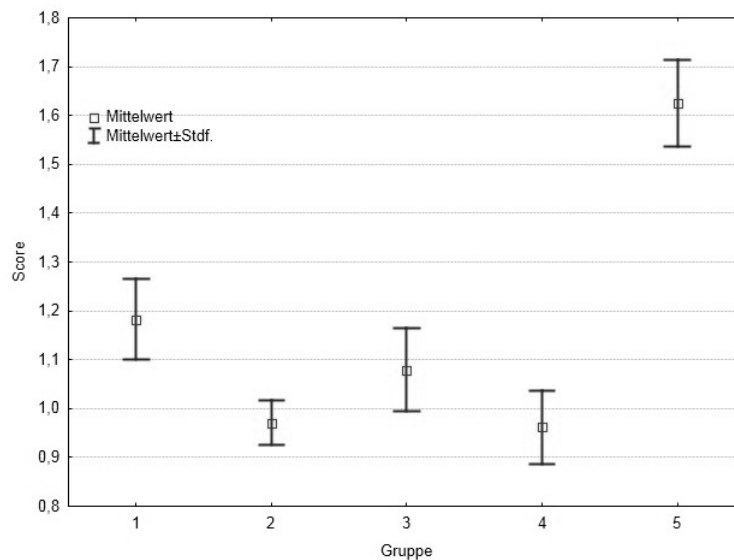


Abbildung 5-5: Unterschiede zwischen den Gruppen für die mesiale Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Zwischen der Lokalisation Apex und Krümmung liegt in der mesialen Wurzelhälfte ein signifikanter Unterschied vor, der sich in dem durchschnittlichen Score-Wert von 1,33 im Apex gegenüber einem Score-Wert von 0,92 in der Krümmung widerspiegelt (Abbildung 5-6).

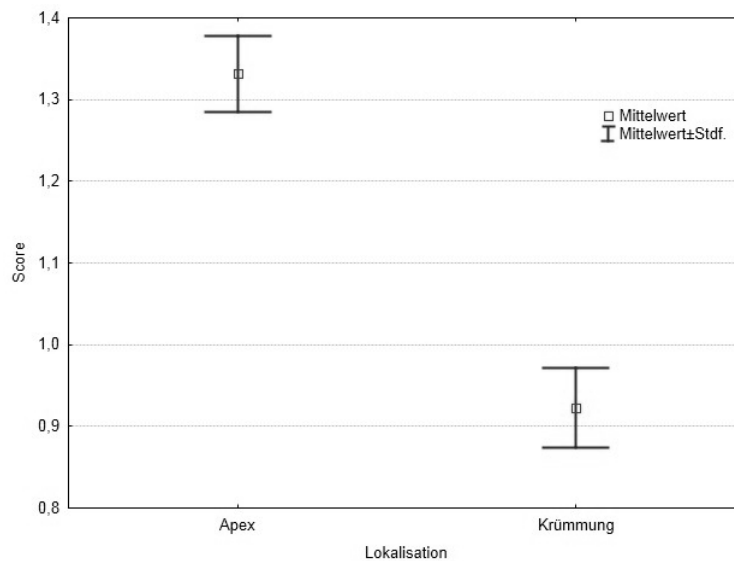


Abbildung 5-6: Einfluss der Lokalisation in der mesialen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Für die **distale Wurzelhälfte** bei Zähnen mit einer Wurzelkanalkrümmung von 20° bis 30° ergibt sich, wie aus Tabelle 5-8 ersichtlich, ein signifikanter Haupteffekt für die Faktoren Gruppe und Lokalisation ($p < 0,001$) (Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8). Eine erneute Wechselwirkung für die Faktoren Gruppe / Lokalisation zeigt sich nicht.

Tabelle 5-8: Effekte in der distalen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,67	Nicht signifikant

Entsprechend der Adjustierung nach der Bonferroni-Methode ergeben die Paarvergleiche für die distale Wurzelhälfte, dass zwischen Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und EndoActivator® (Gruppe 4) keine signifikanten Effekte vorliegen. Die Handspülung (Gruppe 5) erreichte erneut das schlechteste Reinigungsergebnis (Abbildung 5-7).

Die durchschnittlichen Score-Werte dieser Gruppe waren für die Gruppe RinsEndo® 0,97, Ultraschall 1,02, CanalBrush™ 1,03, EndoActivator® 1,04 und die Handspülung 1,86.

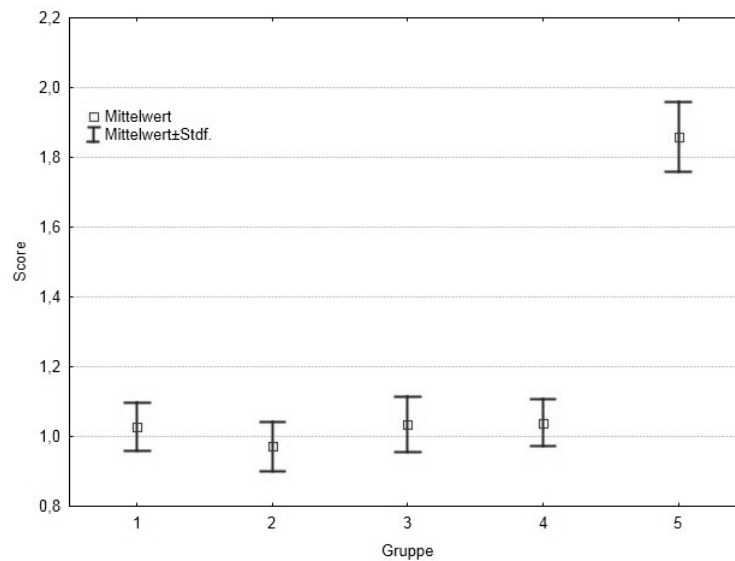


Abbildung 5-7: Unterschiede zwischen den Gruppen in der distalen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Apex und Krümmung. Diese Reinigungsdifferenz äußert sich in dem deutlich schlechteren Score-Wert von 1,48 im Bereich des Apex gegenüber einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,79 im gekrümmten Bereich (Abbildung 5-8).

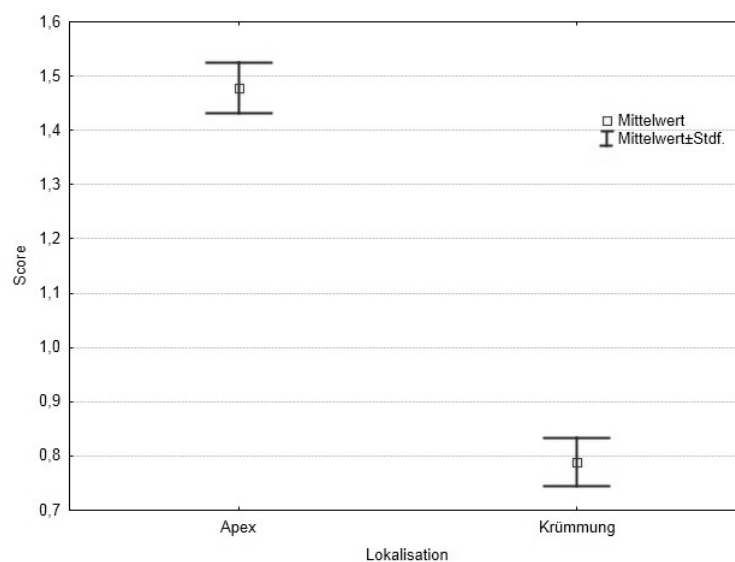


Abbildung 5-8: Einfluss der Lokalisation in der distalen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

5.5.2 Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°

Bei den Zähnen mit starken Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50° zeigt sich ein signifikanter Effekt für die Faktoren Gruppe und Lokalisation ($p < 0,001$) (vergleiche Tabelle 5-9 sowie Abbildung 5-9 und Abbildung 5-10). Eine Wechselwirkung für die Faktoren Wurzelhälfte/ Lokalisation liegt nicht vor (Abbildung 9-5).

Tabelle 5-9: Effekte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Wurzelhälfte	0,51	Nicht signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,52	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,23	Nicht signifikant
Lokalisation*Wurzelhälfte	0,57	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation*Wurzelhälfte	0,50	Nicht signifikant

Die Paarvergleiche in der Gruppe der Zähne mit Krümmungen von 30° bis 50° zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Spülgruppen. Ultraschall (Gruppe 1) erreicht gegenüber RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3), EndoActivator® (Gruppe 4) und Handspülung (Gruppe 5) eine signifikant bessere Reinigungswirkung. Ein weiterer signifikanter Effekt zeigt sich zwischen der CanalBrush™ (Gruppe 3) und der Handspülung (Gruppe 5) (Abbildung 5-9).

Die durchschnittlichen Score-Werte für diesen Krümmungsbereich demonstrieren, dass die effektivste Spülgruppe mit 0,67 Ultraschall ist. Die CanalBrush™ weist mit einem Wert von 1,17 die zweitbeste Reinigungswirkung auf, gefolgt von RinsEndo® mit 1,22, dem EndoActivator® mit 1,38 und der Handspülung mit 1,79.

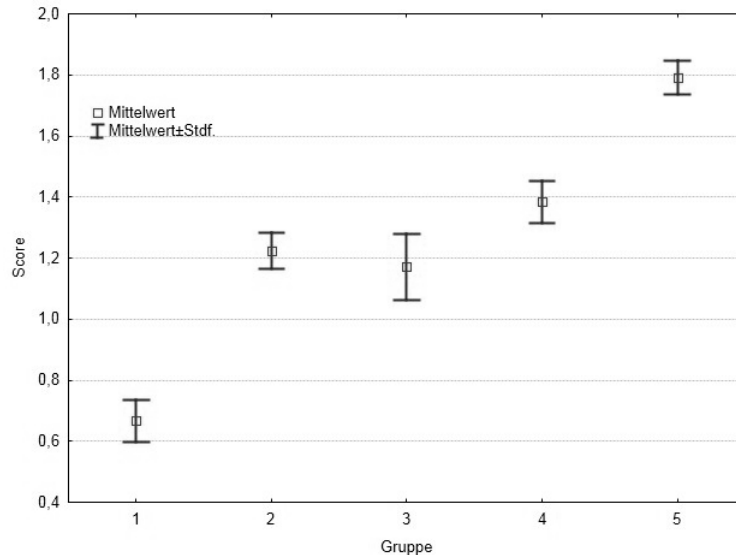


Abbildung 5-9: Unterschiede zwischen den Gruppen für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°

Die Reinigungswirkung fällt im apikalen Bereich signifikant schlechter aus als im Bereich der Krümmung (Abbildung 5-10), welches der durchschnittliche Score-Werte von 1,15 für die Krümmung und 1,54 für den Apex verdeutlicht.

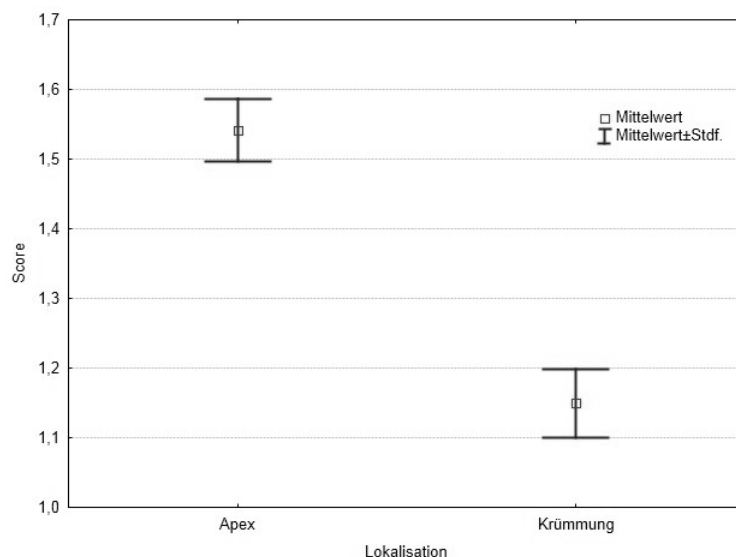


Abbildung 5-10: Einfluss der Lokalisation für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°

Zusammenfassend lässt sich mit Bezug auf die Wurzelkrümmung feststellen:

- Die Ergebnisse für die Wurzelkrümmungen von 20° bis 30° und 30° bis 50° zeigen, dass signifikante Gruppeneffekte vorliegen, d.h. die Reinigungswirkung der einzelnen Spültechniken differiert. In der folgenden Tabelle 5-10 sind die Spültechniken mit ihren durchschnittlichen Score-Werten in aufsteigender Reihenfolge beginnend mit dem besten Reinigungsergebnis dargestellt.

Tabelle 5-10: Deskriptiver Vergleich der Spülgruppen in Abhängigkeit von der Wurzelkrümmung

	Krümmungsbereich 20° bis 30°				Krümmungsbereich 30° bis 50°	
	<i>Mesiale Wurzelhälfte</i>		<i>Distale Wurzelhälfte</i>			
	<i>Spültechnik</i>	<i>Ø Score-Wert</i>	<i>Spültechnik</i>	<i>Ø Score-Wert</i>	<i>Spültechnik</i>	<i>Ø Score-Wert</i>
1	Endo-Activator®	0,96	Rins-Endo®	0,97	Ultraschall	0,67
2	Rins-Endo®	0,97	Ultraschall	1,02	Canal-Brush™	1,17
3	Canal-Brush™	1,08	Canal-Brush™	1,03	Rins-Endo®	1,22
4	Ultraschall	1,18	Endo-Activator®	1,04	Endo-Activator®	1,38
5	Hand-Spülung	1,63	Hand-Spülung	1,86	Hand-Spülung	1,79

- Für beide Wurzelkanalkrümmungsbereiche zeigt sich im apikalen Kanalbereich eine signifikant schlechtere Reinigung als in der Krümmung. Die durchschnittlichen Score-Werte sind in der Tabelle 5-11 dargestellt.

Tabelle 5-11: Deskriptiver Vergleich der Lokalisationen in Abhängigkeit von der Wurzelkrümmung

	Krümmungsbereich 20° bis 30°				Krümmungsbereich 30° bis 50°	
	<i>Mesiale Wurzelhälfte</i>		<i>Distale Wurzelhälfte</i>			
	<i>Lokalisation</i>	<i>Ø Score-Wert</i>	<i>Lokalisation</i>	<i>Ø Score-Wert</i>	<i>Lokalisation</i>	<i>Ø Score-Wert</i>
1	Krümmung	0,92	Krümmung	0,79	Krümmung	1,15
2	Apex	1,33	Apex	1,48	Apex	1,54

- Die weiteren Faktoren zeigen keine signifikanten Unterschiede zum Hauptversuch.

5.6 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Wurzelkanalradius

Die Ergebnisse wurden weiterhin unter dem Aspekt der Reinigungswirkung in Abhängigkeit von dem Krümmungsradius (vergleiche Kap.4.1, S. 27) untersucht.

Eine Einteilung der Zähne erfolgte nach ihrem Krümmungsradius in zwei Gruppen. Die erste Gruppe umfasste Zähne mit einem Radius von 1 mm bis 7,5 mm, die zweite Zähne mit einem Krümmungsradius von 7,6 mm bis 16 mm.

5.6.1 Wurzelkanalradius von 1,0 mm bis 7,5 mm:

Die Auswertung für den Radiusbereich 1,0 mm bis 7,5 mm weist, wie in Tabelle 5-12 dargestellt, einen Gruppen- und Lokalisationseffekt auf (Abbildung 5-11 und Abbildung 5-12). Ein Haupteffekt für den Faktor Wurzelhälfte liegt nicht vor.

Des Weiteren liegen keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Gruppe, Lokalisation und Wurzelhälfte vor (vergleiche Abbildung 9-6).

Tabelle 5-12: Effekte für Zähne mit Radii von 1,0 mm bis 7,5 mm

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	0,027	Signifikant
Wurzelhälfte	0,67	Nicht signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,26	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,69	Nicht signifikant
Lokalisation*Wurzelhälfte	0,09	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation*Wurzelhälfte	0,69	Nicht signifikant

Entsprechend der Adjustierung nach Bonferroni zeigen die Paarvergleiche für den niedrigen Radiusbereich, dass zwischen der Handspülung (Gruppe 5) und Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und EndoActivator® (Gruppe 4) ein signifikanter Unterschied vorliegt. Die Gruppen 1 bis 4 weisen untereinander keine Signifikanzen auf (Abbildung 5-11).

Die Analyse der Gruppenergebnisse zeigt, dass die Spülgruppe EndoActivator® mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,0 die höchste Reinigungswirkung erzielt. Ultraschall erreicht mit einem Score-Wert von 1,04 ein annäherndes Ergebnis, gefolgt von der Canal-Brush™ mit 1,09 und RinsEndo® mit 1,13. Das schlechteste Reinigungsergebnis erlangt mit einem Wert von 1,57 erneut die Spülung per Hand.

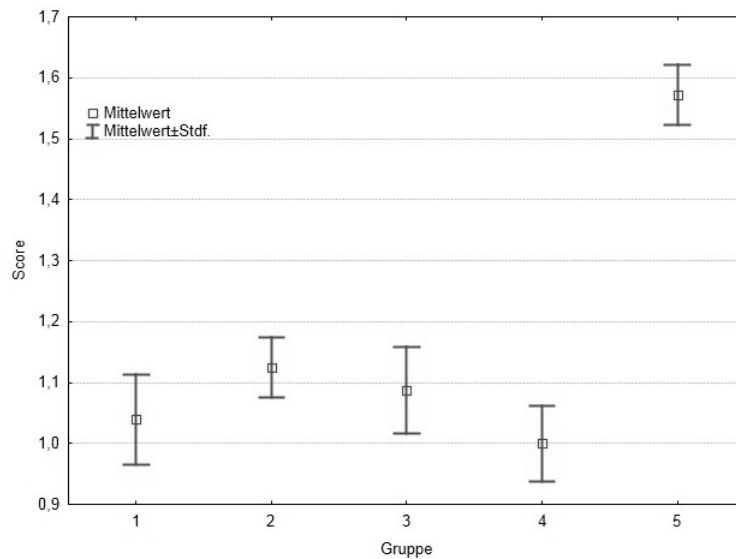


Abbildung 5-11: Unterschiede zwischen den Gruppen für Zähne mit Radii von 1,0 mm bis 7,5 mm

In Bezug auf die Lokalisation ergibt die Untersuchung für den Radiusbereich 1,0 mm bis 7,5 mm einen signifikanten Unterschied (Abbildung 5-12), welcher sich in Form eines durchschnittlichen Score-Werts von 0,98 für die Region der Krümmung gegenüber einem Wert von 1,48 für den apikalen Bereich äußert.

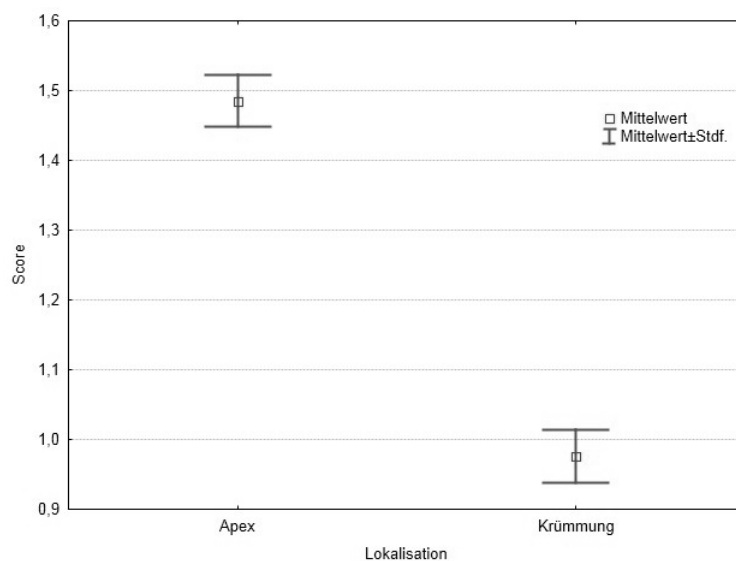


Abbildung 5-12: Einfluss der Lokalisation für Zähne mit Radii von 1,0 mm bis 7,5 mm

5.6.2 Wurzelkanalradius von 7,6 mm bis 16,0 mm

In Tabelle 5-13 sind die Effekte der Analyse für den Radiusbereich 7,6 mm bis 16,0 mm dargestellt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass ein signifikanter Einzeleffekt für die Faktoren Gruppe und Lokalisation vorliegt (Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14). Im Vergleich dazu, ist der Faktor Wurzelhälfte nicht signifikant.

Des Weiteren ergibt sich eine signifikante Wechselwirkung für den Bereich Gruppe/ Lokalisation (Abbildung 9-7). Aufgrund dieser Wechselwirkung erfolgt eine zusätzliche Aufschlüsselung nach der Lokalisation Apex und Krümmung.

Tabelle 5-13: Effekte für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Wurzelhälfte	0,75	Nicht signifikant
Lokalisation	<0,001	Signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,68	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation	0,01	Signifikant
Lokalisation*Wurzelhälfte	0,13	Nicht signifikant
Gruppe*Lokalisation*Wurzelhälfte	0,73	Nicht signifikant

Die Aufschlüsselung der Untersuchung nach der **Lokalisation Apex**, wie in Tabelle 5-14 dargestellt, ergibt, dass ein signifikanter Gruppeneffekt vorliegt (Abbildung 5-13). Die Faktoren Wurzelhälfte und Gruppe / Wurzelhälfte weisen keine Wechselwirkungen auf.

Tabelle 5-14: Lokalisationseffekte des Apex für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Wurzelhälfte	0,46	Nicht signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,72	Nicht signifikant

Die Paarvergleiche weisen im apikalen Bereich einen Effekt zwischen der Handspülung (Gruppe 5) und Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und EndoActivator® (Gruppe 4) auf. Weitere signifikante Effekte liegen zwischen der CanalBrush™ zu jeweils Ultraschall (Gruppe 1) und Rins-Endo® (Gruppe 2) vor. Die weiteren Gruppen weisen untereinander keine Signifikanzen auf.

Die beste Reinigungswirkung zeigt in diesem Bereich RinsEndo® mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,01, gefolgt von Ultraschall mit einem Wert von 1,13. Der EndoActivator® mit einem Score-Wert von 1,43 und die CanalBrush™ mit einem Score-Wert von 1,60 erzielen beide lediglich einen mäßigen Reinigungseffekt. Die meisten Rückstände hinterlässt die Spülung per Hand mit einem Wert von 2,29.

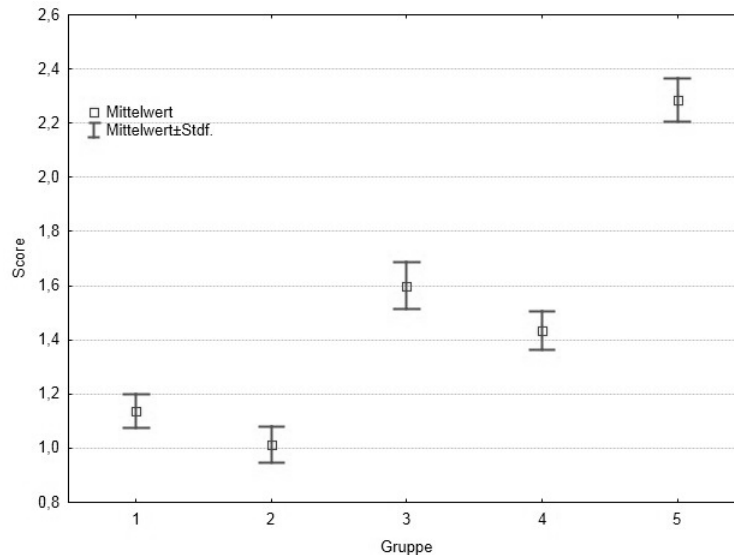


Abbildung 5-13: Einfluss der Lokalisation Apex für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm

Für die **Lokalisation Krümmung** im Radiusbereich 7,6 mm bis 16,0 mm ergibt sich, wie in Tabelle 5-15 ersichtlich, ein signifikanter Gruppeneffekt (Abbildung 5-14). Die Faktoren Wurzelhälfte und Gruppe / Wurzelhälfte zeigen keine Signifikanzen auf.

Tabelle 5-15: Lokalisationseffekte der Krümmung für Zähne mit Radii 7,6 mm bis 16,0 mm

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,001	Signifikant
Wurzelhälfte	0,26	Nicht signifikant
Gruppe*Wurzelhälfte	0,76	Nicht signifikant

Nach Adjustierung mittels der Bonferroni-Methode zeigen die Paarvergleiche für den Radiusbereich von 7,5 mm bis 16,0 mm einen signifikanten Unterschied zwischen der Handspülung (Gruppe 5) und Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3) und Endo-Activator® (Gruppe 4). Signifikanzen zwischen den Gruppen 1 bis 4 können nicht festgestellt werden.

Die deskriptive Auswertung ergibt, dass die CanalBrush™ mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,58 die beste Reinigungswirkung erzielt. Ultraschall erreicht mit einem Score-Wert von 0,69 ein annäherndes Ergebnis, gefolgt vom EndoActivator® mit 0,93 und RinsEndo® mit 0,98. Das schlechteste Reinigungsergebnis erreicht mit einem Wert von 2,0 erneut die Spülung per Hand.

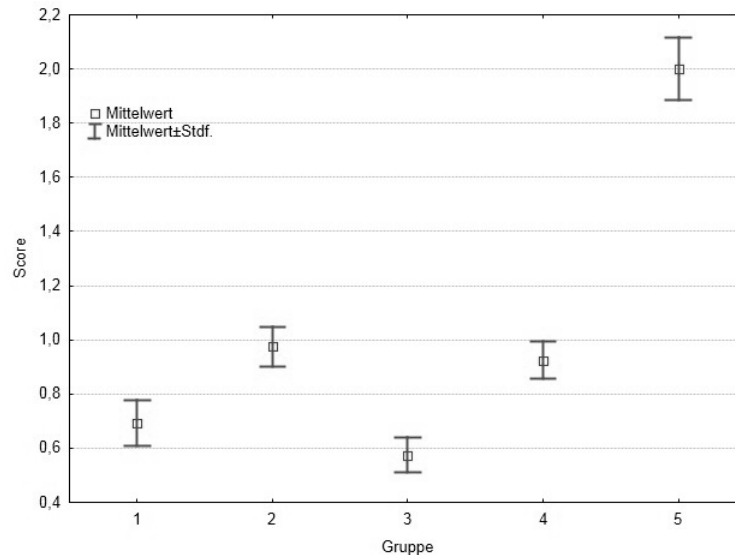


Abbildung 5-14: Einfluss der Lokalisation Krümmung für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm

Zusammenfassend lässt sich mit Bezug auf den Wurzelkanalradius feststellen:

- Für die Radiusbereiche 1,0 mm bis 7,5 mm und 7,6 mm bis 16,0 mm weist die Analyse der Gruppen signifikante Effekte auf. Diese Signifikanz lässt auf eine unterschiedliche Reinigungswirkung durch die verschiedenen Spültechniken schließen. In der Tabelle 5-16 sind die Spültechniken mit ihren durchschnittlichen Score-Werten für den niedrigen und hohen Radiusbereich in aufsteigender Reihenfolge beginnend mit dem besten Reinigungsergebnis dargestellt (siehe Tabelle 5-16). Die Werte für den Radiusbereich 7,6 mm bis 16,0 mm wurden aus den Einzelwerten gemittelt.

Tabelle 5-16: Deskriptiver Vergleich der Spülgruppen in Abhängigkeit von dem Wurzelradius

	Radiusbereich 1,0 mm bis 7,5 mm		Radiusbereich 7,6 mm bis 16,0 mm	
	Spültechnik	Ø Score-Wert	Spültechnik	Ø Score-Wert
1	EndoActivator®	1,00	Ultraschall	0,91
2	Ultraschall	1,04	RinsEndo®	1,00
3	CanalBrush™	1,09	CanalBrush™	1,09
4	RinsEndo®	1,13	EndoActivator®	1,36
5	Handspülung	1,57	Handspülung	2,15

- Für den Faktor Lokalisation kann in der Ergebnisanalyse in beiden Radiusbereichen ein signifikanter Haupteffekt nachgewiesen werden, welcher auf eine unterschiedliche Reinigungswirkung der Spültechniken in den Bereichen Krümmung und Apex schließen lässt. Die durchschnittlichen Score-Werte sind in den Tabelle 5-18 in aufsteigender Wertigkeit dargestellt.

Tabelle 5-17 Deskriptiver Vergleich der Lokalisation in Abhängigkeit von dem Wurzelradius 1,0 mm bis 7,5 mm

Radiusbereich 1,0 mm bis 7,5 mm	
<i>Lokalisation Krümmung</i>	<i>Lokalisation Apex</i>
<i>∅ Score-Wert</i>	<i>∅ Score-Wert</i>
0,98	1,48

Tabelle 5-18: Deskriptiver Vergleich der Lokalisation in Abhängigkeit von dem Wurzelradius 7,6 mm bis 16,0 mm

Radiusbereich 7,6mm bis 16,0mm				
<i>Lokalisation Krümmung</i>			<i>Lokalisation Apex</i>	
	<i>Spültechnik</i>	<i>∅ Score-Wert</i>	<i>Spültechnik</i>	<i>∅ Score-Wert</i>
1	CanalBrush™	0,58	RinsEndo®	1,01
2	Ultraschall	0,69	Ultraschall	1,13
3	Endo-Activator®	0,93	Endo-Activator®	1,43
4	RinsEndo®	0,98	CanalBrush™	1,60
5	Hand-Spülung	2,0	Hand-Spülung	2,29

- Die weiteren Faktoren zeigen keine signifikanten Unterschiede zum Hauptversuch.

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Methode

Die Untersuchungsmethode wurde in Anlehnung an eine Studie von Lambrianidis et al. (2006) gewählt, die die Entfernbarekeit von Ca(OH)_2 und Chlorhexidin aus geraden Wurzelkanälen analysierte. Eine strukturähnliche Studie wurde von Boutsoukis et al. (2008) durchgeführt. Die Studie basiert dabei auf einem Prozedere, welches als klinisch relevant und standardisiert angesehen wird (Baumgartner et al. 2002).

Betrachtet wurde in dieser Arbeit die Reinigungseffektivität fünf verschiedener Spültechniken hinsichtlich der Entfernung von Ca(OH)_2 unter besonderer Beachtung der Wurzelkanalkrümmung (Krümmungswinkel und Krümmungsradius). Die Untersuchung wurde mit einem standardisierten Spülprotokoll durchgeführt, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien und einen praktischen Rückschluss auf die klinische Anwendung zu erzielen.

Diese Studie wurde unter Verwendung von 100 extrahierten Zähnen (20 extrahierte Zähne pro Spülverfahren) durchgeführt. Dem Einsatz extrahierter Zähne wurde gegenüber Kunststoffblöcken (Torres et al. 2004) der Vorzug gegeben, um einen besseren Bezug zu den klinischen Verhältnissen herzustellen. Neben den variablen Faktoren wie Wurzelkanalkrümmungswinkel und -radius, die gesondert in die Untersuchung mit einbezogen wurden, lag ein elementarer Vorteil in dem Vorliegen der komplexen dreidimensionalen Wurzelkanalstruktur. Die verwendeten Unterkiefermolaren wiesen ein breites Spektrum an Seiten- und akzessorischen Kanälen sowie transversalen Anastomosen, Ausbuchtungen und Verästelungen auf, welche künstlich nicht erzeugt werden können. Entsprechende Wurzelkanalbereiche können durch eine rein mechanische Präparation oftmals nicht erreicht werden, sodass bis zu 35% dieser Bereiche unbearbeitet bleiben (Peters et al. 2001).

Die für die Studie verwendeten extrahierten Zähne mussten u.a. die folgenden Kriterien erfüllen: Unterkiefermolaren mit einem Krümmungswinkel zwischen 20° und 50° und einem Krümmungsradius von 1 mm bis 16 mm. Die Berechnung des Krümmungswinkels und des Wurzelkanalradius wurde in Anlehnung an die Klassifizierung von Pruett et al. (1997) durchgeführt. Hinsichtlich der Faktoren Krümmungswinkel und Krümmungsradius wurden in der Literatur bislang vornehmlich Studien durchgeführt, die den Einfluss von Präparationsinstrumenten auf die Wurzelkanalanatomie untersuchten (Pruett et al. 1997). Beide Parameter sind grundlegend, um die Wurzelkanalanatomie bzw. -geometrie genau beschreiben zu können. Die Wurzelkanalkrümmung kann unabhängig von dem Wurzelkanalradius gesehen werden. So lagen bei verschiedenen Zähnen mit gleichen Wurzelkanalkrümmungen verschiedene Wurzelkanalradien vor. Der Begriff Wurzelkanalkrümmung beschreibt in diesem Zusammenhang lediglich die Abweichung des Kanals von der geraden, koronalen Achse. Der Wurzelkanalradius hingegen lässt auf die Stärke der Änderung des Kanalverlaufs schließen (vergleiche Kapitel 2.2, S. 4, und 4.1, S. 27). Bei einem niedrigen Wurzelkanal-

radius liegt eine abrupte Veränderung des Kanalverlaufs vor. Je größer der Wurzelkanalradius ist, desto gleichmäßiger verändert sich die Krümmung des Wurzelkanals. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass bei einer großen Wurzelkanalkrümmung und/ oder einem niedrigen Wurzelkanalradius die Erreichbarkeit des apikalen Bereichs durch die verschiedenen Spültechniken erheblich erschwert war. Für eine gezielte Untersuchung dieser Wurzelkanalareale wurden zwei Bereiche definiert, die zuvor röntgenologisch bestimmt worden waren. Die Bereiche „Apex“ und „Krümmung“ wurden für die Bewertung ausgewählt, da sich die Reinigung hier extrem schwierig darstellt (Hülsmann et al. 2003; Lambrianidis et al. 2006; Nandini et al. 2006). Der koronale Wurzelkanalanteil wurde nicht in die Auswertung mit einbezogen, da in verschiedenen Studien nachgewiesen werden konnte, dass die Reinigungsergebnisse zwischen koronalem und gekrümmtem Bereich vergleichbar ausfallen (Scelza et al. 2004)

Hinsichtlich einer Abhängigkeit der Spülwirkung von den Faktoren Konizität und apikaler Aufbereitungsgröße eines Wurzelkanals liegen zurzeit nur wenige Studien vor. Basierend auf Studien von Lee et al. (2004) und van der Sluis et al. (2005) konnte gefolgert werden, dass die Präparationsgröße eines Wurzelkanals die Effizienz einer Spülung maßgeblich beeinflusst. Huang et al. (2008) berichteten, dass einerseits eine größere apikale Aufbereitung eine bessere apikale Spülwirkung und andererseits eine höhere Konizität einen besseren Spülmittelaustausch zwischen den apikalen und koronalen Bereichen bewirkt. Khademi et al. (2006) konnten nachweisen, dass eine apikale Präparation bis mindestens zur ISO-Größe 30 (Spitzendurchmesser 30/100 mm) in Kombination mit einer Konizität von 0.06 eine effektive Spülung des apikalen Drittels erlaubt. Daher wurde für diese Studie eine Aufbereitungsweite von ISO 35 mit einer Konizität von 0.06 gewählt, um eine wirksame Spülung des gesamten Wurzelkanals zu garantieren.

Das Ziel dieser Studie war die Untersuchung verschiedener Spültechniken unter Ausschluss chemischer Spüllösungen, die nachgewiesen einen Einfluss auf die Entfernbarkeit von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ besitzen (Kenee et al. 2006; Salgado et al. 2009). Die Verwendung von destilliertem Wasser (Aqua dest.) bei Raumtemperatur ermöglichte hingegen die Ausblendung des chemischen Lösungspotenzials der verschiedenen Spüllösungen, insbesondere weil Aqua dest. keine messbare Wirkung auf anorganische Substanzen wie Kalziumhydroxid besitzt (Margelos et al. 1997). Des Weiteren liegen vergleichbare Fließeigenschaften für Aqua dest. und NaOCl vor (Guerisoli et al. 1998) und führen zu einer Übertragbarkeit auf die klinischen Anwendungen sowie zu einer Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Um eine einheitliche Systematik innerhalb der Studie zu erreichen, wurde für jede Spültechnik ein standardisiertes Spülprotokoll entwickelt, welches im Rahmen von sechs Spülzyklen eine Gesamtmenge von 18,6 ml Aqua dest. bei einer Durchflussrate von 6,2 ml/min erreichte. Die Durchflussrate orientierte sich an dem Gerät RinsEndo® aufgrund der vom Hersteller eingestellten, nicht-veränderbaren Durchflussrate von 6,2 ml/min. Die Gesamtpülmenge entspricht der Flüssigkeitsmenge, die in anderen Studien verwendet wurden (Goldberg et al. 2004; Howard et al.

2011; Wiseman et al. 2011). Infolge der Vermeidung des Einsatzes chemischer Lösungen wie NaOCl und Chelatoren wie zum Beispiel EDTA kann von einer Ausbildung einer Debrisschicht ausgegangen werden, die einen Einfluss auf die bakterielle Wirkung des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hätte. Dies wurde in dieser Studie jedoch nicht weiter betrachtet.

Die unabhängige Auswertung durch zwei Auswerter (Reader) erfolgte mittels eines Mikroskops mit einer 30fachen Vergrößerung. Der wesentliche Vorteil lag hierbei in der vielfach besseren Bewertbarkeit der dreidimensionalen Wurzelkanalbereiche, die über eine fotografische Aufnahme schwer erfassbar sind. Für die Dokumentation wurde dennoch jede Wurzelhälfte zusätzlich fotografiert und digital gespeichert.

Elementar in der durchgeführten Studie war die Anwendung eines Scoring-Systems, welches eine objektive Vergleichbarkeit innerhalb der jeweiligen Gruppe sowie zwischen den verschiedenen Gruppen ermöglichte. Die Bewertung der definierten Wurzelkanalbereiche über Scoring-Werte hat sich als eine zuverlässige Methode erwiesen, um den gesamten dreidimensionalen Wurzelkanal zu bewerten. Gegenüber den Studien von Lambrianidis et al. (2006) oder Boutsoukis et al. (2008) wurde die Score-Wert-Abstufung von 1 bis 4 jedoch um einen Wert auf 0 bis 4 ergänzt, um eine erhöhte Aussagekraft über die Reinigungswirkung der verschiedenen Spültechniken zu erreichen. Eine alternative Auswertungsmethode mittels der Berechnung des prozentualen Anteils an bedeckter Wurzelkanaloberfläche, wie in anderen Studien genutzt (Kenee et al. 2006; Wiseman et al. 2011), wurde nicht angewendet. Als Schwachstelle zeigte sich in diesem Zusammenhang wiederholt die schwierige farbliche Differenzierung zwischen dem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und den Dentinarealen (Lambrianidis et al. 1999), sowie in der Erfassung der gesamten dreidimensionalen Kanalwandbereiche (Kenee et al. 2006). Die Verwendung eines Score-Systems mit einer Abstufung von mehreren Werten barg jedoch das Risiko, dass sich während der Auswertung bei den Readern eine erhöhte Neigung zu bevorzugten Scores entwickelt. Dieser subjektive Einfluss kann nie ausgeschlossen werden. Jedoch erfolgten vor der statistischen Auswertung des Hauptversuchs eine Überprüfung der Fehlerquote eines jeden Readers zwischen den Durchläufen sowie eine Überprüfung der Übereinstimmung zwischen den Readern. Aufgrund einer intraindividuellen und interindividuellen Reliabilität von $> 0,75$ kann nach Fleiss' „equally arbitrary guidelines“ von einer hohen Übereinstimmung (Fleiss 1981) und damit von einer hohen Aussagekraft ausgegangen werden. Eine Beeinträchtigung der Ergebnisse durch die Individualität der Untersucher kann daher ausgeschlossen werden.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

In allen Versuchen zeigte sich eine signifikante Überlegenheit aller Wurzelkanalspültechniken gegenüber der Kontrollgruppe in Form der manuellen Spülung. Es kann daher von einer besseren Reinigungswirkung infolge einer Aktivierung der Spüllösung ausgegangen werden. Dennoch war keine der verwendeten Spültechniken in der Lage, eine gänzliche Entfernung

des applizierten Ca(OH)_2 aus dem Wurzelkanalsystem zu bewirken. Ein Einfluss der Wurzelkanalkrümmung und des Wurzelkanalradius auf die Studienergebnisse wurde festgestellt.

6.2.1 Bewertung der Reinigungseffektivität des Piezon® Master 400

Das Ultraschallsystem Piezon® Master 400 erzielte in den beiden Wurzelhälften tendenziell gute Reinigungsergebnisse mit durchschnittlichen Score-Werten von 0,95 in der distalen Wurzelhälfte sowie 0,99 in der mesialen Wurzelhälfte. Damit konnten mehr als 50% der Wurzelkanaloberfläche von Ca(OH)_2 gereinigt werden, wobei nur wenige kleine Ca(OH)_2 -Reste im Wurzelkanal verblieben. Obwohl das Ultraschallsystem mit diesen Score-Werten die besten Reinigungsresultate aufwies, muss dies gegenüber den weiteren Spülgruppen relativiert werden, da gegenüber den Spültechniken RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator® kein signifikanter Unterschied vorlag. Es zeigte sich weiterhin, dass der apikale Bereich schlechter gereinigt wurde als der gekrümmte Bereich.

Das Ultraschallgerät Piezon® Master 400 basiert auf einem oszillierenden System. Dieses System arbeitet über die Entwicklung von Schwingungsfrequenzen im Bereich von 28 bis 32 kHz und hat das Ziel, über die Ausbildung von Mikroströmungen und Kavitationseffekten im Wurzelkanal eine verstärkte Reinigungswirkung zu erreichen (vergleiche Kapitel 2.5.1, S. 9). Für die Studie wurde die passive ultraschallaktivierte Spülung angewendet, um unter Schonung der Wurzelkanaloberfläche und der Kanal Anatomie die Reinigungswirkung zu untersuchen. Die alternative Anwendung einer ultraschallaktivierten Instrumentation zeigte in verschiedenen Studien zwar bessere Reinigungseffekte (Cunningham et al. 1982; Archer et al. 1992), jedoch resultierten diese Ergebnisse aus dem wiederholten Kontakt zwischen den endodontischen Feilen und der Kanaloberfläche. Die Folge waren Beschädigungen der Wurzelkanaloberfläche (Walmsley et al. 1991; Lumley et al. 1992), die sich in Form von Wurzelkanalbegradigungen und Stufenbildungen bis hin zu Perforationen manifestierte. Als Ursache hierfür wurde die schwer zu kontrollierende Anwendung der endodontischen Feile im apikalen Wurzelkanalbereich (van der Sluis et al. 2007b) sowie im Krümmungsbereich gesehen (Lumley et al. 1992). Um einer entsprechenden Problematik vorzubeugen und eine optimale Schwingungsentwicklung im Wurzelkanal zu ermöglichen, wurden die endodontischen Feilen, wie in den Studien von Ahmad et al. (1992) und Lumley et al. (1992) empfohlen, vorgebogen.

Die Anwendung im Wurzelkanal erfolgte wie bereits in vergleichbaren Studien mit einem Abstand von zwei bis drei Millimeter zwischen Feilenspitze und Apex (van der Sluis et al. 2006), um speziell das Risiko einer apikalen Extrusion von Spülflüssigkeit zu reduzieren. Insbesondere bei Vorhandensein weiter apikaler Foramina wurde jedoch ein apikaler Übertritt von Spüllösung festgestellt. Dies steht in Übereinstimmung mit einer Studie von Desai und van Himel (2009), in welcher eine erhöhte Häufigkeit einer apikalen Extrusion durch Ultraschallsysteme nachgewiesen wurde. Eine Abhängigkeit der Extrusion von der Wurzelkanalkrümmung oder dem Wurzelkanalradius wurde nicht festgestellt.

Auf chemisch aktive Spüllösungen wie NaOCl wurde zugunsten von destilliertem Wasser verzichtet, um eine objektive Betrachtung der Spülwirkung des Ultraschallsystems zu ermöglichen. Als limitiert ist jedoch das Zusammenspiel von destilliertem Wasser und dessen Aktivierung durch ein Ultraschallsystem zu sehen. Bereits in mehreren Studien konnte eine reduzierte Reinigungswirkung einer ultraschallaktivierten Spülung mit Wasser bei der Entfernung von Debris (Cheung und Stock 1993; van der Sluis et al. 2010) oder pulpalen Geweberesten (Türkün und Cengiz 1997) nachgewiesen werden. Eine deutliche Steigerung des Reinigungseffekts wurde hingegen durch ein Ultraschallsystem in Kombination mit NaOCl erreicht. Als Erklärung für diese Reinigungsergebnisse kann der Aktivierungsprozess gesehen werden, der mit einer Temperaturerhöhung der Spüllösung NaOCl ein breiteres und effektiveres Wirkspektrum verleiht (Cunningham und Joseph 1980; Cameron 1988; Sirtes et al. 2005). Ein besonderer Einfluss des Ultraschalls auf destilliertes Wasser konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Entfernbarkeit von Kalziumhydroxid aus Wurzelkanälen mit einer ultraschallaktivierten Spülung wurde erst in wenigen Studien untersucht. Den Studien war jedoch gemeinsam, dass das applizierte Ca(OH)_2 aus keinem Wurzelkanal restlos entfernt werden konnte. Kenee et al. (2006) wiesen nach, dass eine rotierende Instrumentierung eines Wurzelkanals eine vergleichbare Effizienz bei der Entfernung von Ca(OH)_2 erreicht wie eine Ultraschallspülung. Beide Techniken waren einer alleinigen Handspülung überlegen. In einer Studie von Wiseman et al. (2011) zeigte sich ebenfalls eine erhöhte Reinigungseffizienz bei einer kombinierten Anwendung einer rotierenden Instrumentierung mit einem Ultraschallsystem gegenüber einer kombinierten Anwendung mit dem EndoActivator®. In einer weiteren Studie konnten Taşdemir et al. (2011) nachweisen, dass eine Ultraschallspülung ähnlich gut Ca(OH)_2 entfernen kann wie das mechanische Reinigungsgerät CanalBrush™. Im Vergleich mit dem System RinsEndo® konnten Rödiger et al. (2010c) eine signifikant bessere Reinigungswirkung der ultraschallaktivierten Spülung aufzeigen. Die Ergebnisse der Studien von Kenee et al. (2006), Wiseman et al. (2011), Taşdemir et al. (2011) und Rödiger et al. (2010c) stehen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Untersuchung. In den genannten Studien wurden jedoch zusätzlich chemisch aktive Spüllösungen verwendet. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Agenzien einen zusätzlichen Reinigungseffekt bezüglich des Ca(OH)_2 besitzen (Salgado et al. 2009).

Hinsichtlich der zeitlichen Anwendungsdauer einer Ultraschallspülung konnte gezeigt werden, dass eine Steigerung der Spülaktivität von einer auf drei Minuten eine Erhöhung der Spülwirkung zur Folge hat (van der Sluis et al. 2006). Des Weiteren wird eine regelmäßige Auswechslung des Flüssigkeitsvolumens im Wurzelkanal nach den Phasen der Ultraschallaktivierung empfohlen, um ein optimales Reinigungsergebnis zu erreichen (van der Sluis et al. 2010). Diese Parameter wurden entsprechend dem Spülprotokoll mit einer 6 x 30 Sekunden langen Aktivierung und einem konstanten Flüssigkeitsaustausch eingehalten.

Die Analyse der Ergebnisse in Relation zur **Wurzelkanalkrümmung** zeigte für den Bereich 20° bis 30° eine mittelmäßige Reinigungswirkung des Ultraschalls mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,10. Dabei erreichte die PUI in beiden Wurzelhälften ein ähnliches Reinigungsergebnis wie die Systeme RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator® sowie eine signifikante Überlegenheit gegenüber der Handspülung. Dies steht im Gegensatz zu den Resultaten für den Krümmungsbereich von 30° bis 50°, in welchem das Ultraschallsystem eine sehr gute Reinigungswirkung mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,67 erreichte und damit signifikant besser abschnitt als die übrigen vier Techniken. In beiden Krümmungsbereichen lagen signifikant bessere Reinigungsresultate im Bereich der Krümmung als im apikalen Bereich vor.

Grundsätzlich erreichte die Ultraschallspülung ähnliche Reinigungsergebnisse wie in vorangegangenen Studien mit gekrümmten Wurzelkanälen. So konnten Jensen et al. (1999) mit ihrer Studie zur Entfernung von Debris aus gekrümmten Wurzelkanälen zeigen, dass die PUI signifikant besser als eine Handspülung und ähnlich gut wie eine schallaktivierte Spülung reinigt. Mit einem von Jensen et al. (1999) definierten Krümmungsbereich von 25° bis 35° überschneiden sich zwar die Krümmungsbereiche mit dieser Studie (20° bis 30° sowie 30° bis 50°), jedoch wurden in beiden Studien ähnliche Reinigungswirkungen erzielt. Diese Ergebnisse stehen weiterhin in Übereinstimmung mit einer Studie von Sabins et al. (2003), in der ebenfalls eine Überlegenheit einer PUI gegenüber einer Handspülung und einer schallaktivierten Spülung festgestellt wurde. Der Grad der Wurzelkanalkrümmung der verwendeten Zähne wurde in der Untersuchung von Sabins et al. (2003) jedoch nicht angegeben.

Den Einfluss der Wurzelkanalkrümmung auf den Reinigungseffekt durch ein Ultraschallsystem untersuchten Gutarts et al. 2005. In dieser Studie wurde ein Vergleich zwischen Krümmungen von $\leq 25^\circ$ und 26° bis 52° gezogen, welches in relativ guter Relation zu den Bereichen in dieser Studie gesehen werden kann. Auffällig war, dass in der Untersuchung von Gutarts et al. (2005) zwischen diesen Bereichen keine unterschiedlichen Reinigungswirkungen des PUI festgestellt wurden. Im Gegensatz dazu steht in dieser Untersuchung das eindeutig bessere Reinigungsergebnis in dem hohen Krümmungsbereich von 30° bis 50°. Als mögliche Ursache kann hierfür das bessere Vorbiegen der endodontischen Feilen gesehen werden, so dass in der Folge der gesamte Wurzelkanal besser erreicht und gereinigt werden konnte. Dennoch muss erwähnt werden, dass der apikale Bereich in beiden Krümmungsgruppen erneut nur unterdurchschnittlich gereinigt wurde. Obwohl in verschiedenen Studien (Roy et al. 1994; Ahmad et al. 2009) gezeigt werden konnte, dass es im apikalen Anteil aufgrund einer maximalen Schwingungsamplitude und damit einem Maximum an reinigenden Strömungsturbulenzen an der Feilenspitze eigentlich zu einer besseren Reinigungswirkung kommen müsste, muss in dieser Studie der limitierende Faktor der Wurzelkanalkrümmung beachtet werden. Obwohl, wie in der Studie von Lumley und Walmsley (1992) erwähnt, vorgebogene Feilen eine bessere Reinigungswirkung in gekrümmten Wurzelkanälen erreichen, muss immer eine morphologische Differenz zwischen der gebogenen Feile und dem tatsäch-

lichen Kanalverlauf vermutet werden. Bei einer zu geraden oder zu stark gebogenen Feile kann davon ausgegangen werden, dass eine optimale passive Anwendung im Wurzelkanal nicht möglich ist und es zu einem Kontakt zwischen Feile und Wurzelkanaloberfläche kommt. Als kritisch ist hierbei der mögliche Übergang von der passiven Ultraschallspülung zu einer aktiven ultraschallaktivierten Instrumentation zu sehen, welches zwar eine bessere Reinigungswirkung im Krümmungsbereich, jedoch auch eine ungewollte Beschädigung der Wurzelkanaloberfläche hervorrufen kann. Weiterhin würde es hierbei zu einer Einschränkung der Schwingungsamplitude im Bereich der Feilenspitze kommen, so dass der Reinigungseffekt im apikalen Bereich verringert werden würde (Walmsley 1987). Infolgedessen ist das Vorbiegen der Feilen zwar empfehlenswert, jedoch ist eine optimale Umsetzung in der klinischen Anwendung nur erschwert möglich, da die dreidimensionale Kanal Anatomie In-vivo als auch im Röntgenbild nicht eindeutig ermittelbar ist.

Für den Bereich des geringen **Wurzelkanalradius** von 1 mm bis 7,5 mm konnte für das Ultraschallsystem ein vergleichbares Ergebnis wie für die übrigen Techniken RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator® nachgewiesen werden. Dies spiegelte sich in einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,04 wider. Hinsichtlich der Lokalisationen konnte für den Krümmungsbereich ein deutlich besseres Reinigungsergebnis als für die Apikalregion festgestellt werden.

Ein kleiner Wurzelkanalradius ist gleichbedeutend mit einer abrupten, starken Veränderung des Wurzelkanalverlaufs. Bei einem durchschnittlichen Radius von 1 mm bis 7,5 mm besteht in der Folge eine erhöhte Schwierigkeit in der optimalen Platzierung der geraden, ultraschallaktivierten Feilen bis zum Apex. Eine rein passive Aktivierung im Wurzelkanal ohne Wandkontakt kann daher nur schwer gewährleistet werden. Um dieses Ziel jedoch bestmöglich umsetzen zu können, wurden die endodontischen Feilen dem Wurzelkanal entsprechend vorgebogen (Lumley et al. 1992; Ahmad et al. 1992). Dennoch muss davon ausgegangen werden, dass es bei jedweder Änderung des Kanalverlaufs zu einem Kontakt zwischen Feile und Kanaloberfläche kommt. Walmsley und Williams (1989) wiesen nach, dass es bei einem mehrfachen Kontakt zwischen Feile und Wurzelkanalwand insbesondere im Bereich der Krümmung zu einer zunehmenden Inaktivierung der Ultraschallwirkung in Richtung Apex kommt. Die Folge ist eine Reduktion der Schwingungsamplitude im Bereich der Feilenspitze und damit eine Verringerung des Reinigungseffekts (Walmsley 1987). Mit Zunahme des Wurzelradius ist diesem Erklärungsversuch zufolge eine leichtere Platzierbarkeit der ultraschallaktivierten Feilen insbesondere bis in den apikalen Bereich und damit eine bessere Reinigungswirkung möglich. Dieser Effekt spiegelt sich in den Ergebnissen dieser Studie wider. Hierbei wurde in den Wurzelkanälen mit einem hohen Radius mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,91 eine erhöhte Spüleffektivität im Gegensatz zu den Wurzelkanälen mit einem niedrigen Wurzelkanalradius (1,04) erreicht. Leider liegen zurzeit jedoch noch keine Studien zum Einfluss des Wurzelkanalradius auf die Reinigungswirkung von PUI vor.

6.2.2 Bewertung der Reinigungseffektivität des RinsEndo®-Systems

Das System RinsEndo® wies eine tendenziell gute Reinigungswirkung auf. Es zeigte sich, dass das hydrodynamische Gerät vergleichbare Spülergebnisse wie die Spültechniken Ultraschall, CanalBrush™ und EndoActivator® erzielte und keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen waren. Lediglich die Kontrollgruppe in Form der Handspülung schnitt signifikant schlechter ab. Der durchschnittliche Score-Wert von 1,06 in beiden Wurzelhälften verdeutlicht, dass mittels des RinsEndo®-Systems mehr als 50% der Wurzelkanalwände gereinigt werden konnten, so dass nur wenige kleine $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Rückstände der Wurzelkanaloberfläche aufgelagert blieben. Des Weiteren erbrachte die Auswertung eine auffällige Differenz zwischen den Bereichen Krümmung und Apex, welche sich in einer signifikant schlechteren Reinigungswirkung im apikalen Bereich äußerte.

Dem Gerät RinsEndo® liegt ein hydrodynamisches Arbeitsprinzip zu Grunde. Ziel ist es, im Wurzelkanalsystem über einen schnellen Austausch von Flüssigkeit und Luft mikroskopische und makroskopische Luftblasen zu erzeugen und in der Folge zum Kollabieren zu bringen, welches in hydrodynamischen Strömungsturbulenzen resultiert (vergleiche Kapitel 2.5.2, S. 13). Um diese hydrodynamischen Strömungsturbulenzen sowie einen hohen Flüssigkeitsaustausch zwischen den apikalen und koronalen Kanalbereichen effektiv über die gesamte Wurzelkanallänge umsetzen zu können, ist eine möglichst große instrumentelle Aufbereitung notwendig. Dies wurde in dieser Studie berücksichtigt. In Studien von Braun et al. und McGill et al. wurde nachgewiesen, dass bei einer Aufbereitungsgröße ISO 40 das RinsEndo®-System gegenüber einer konventionellen Handspülung eine signifikant bessere Reinigungswirkung bei der Entfernung pulpalen Gewebes (Braun et al. 2005) bzw. von Biofilmen (McGill et al. 2008) erreicht wurde. Obwohl diese Ergebnisse in Übereinstimmung mit denen der vorliegenden Studie stehen, muss der in diesen Studien vorliegende Einfluss der angewendeten chemischen Spüllösungen (NaOCl) auf die Reinigungseffizienz berücksichtigt werden.

Eine Abhängigkeit der Spülwirkung von der Lokalisation im Wurzelkanal konnten Pouch et al. bereits 2007 nachweisen. In dieser Studie wurde aufgezeigt, dass RinsEndo® im apikalen Wurzelkanalbereich eine signifikant bessere Reinigungswirkung erzielte als ein Ultraschallsystem und eine konventionelle Handspülung. Im koronalen Bereich zeigte sich hingegen eine schlechtere Spülwirkung. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zur vorliegenden Untersuchung, in welcher RinsEndo® den Apex (durchschnittlicher Score-Wert 1,46) deutlich schlechter von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reinigte als die Region der Krümmung (durchschnittlicher Score-Wert 0,97). Als Ursache hierfür können die Variablen Wurzelkanalkrümmung und Wurzelkanalradius gesehen werden.

Die genannten Studien zu dem Gerät RinsEndo® müssen weiterhin eingeschränkt betrachtet werden, da sie ausschließlich in geraden Wurzelkanälen sowie z.T. in Kombination mit chemischen Spüllösungen durchgeführt wurden.

Für die schwache **Wurzelkanalkrümmung** von 20° bis 30° zeigten sich in der mesialen und distalen Wurzelhälfte keine signifikanten Unterschiede zwischen dem RinsEndo®-System und Ultraschall, CanalBrush™ und EndoActivator®. Lediglich die Handspülung zeigte erneut signifikant schlechtere Ergebnisse. In diesem schwachen Wurzelkanalkrümmungsbereich wurde in beiden Wurzelhälften ein durchschnittlicher Score-Wert von 0,97 erreicht, welcher insgesamt für das Gerät bei 1,06 lag. In Bezug auf die Lokalisation konnte ein signifikanter Effekt zwischen den Bereichen Apex und Krümmung gesehen werden, welcher sich in einem überdurchschnittlichen Score-Wert von 0,86 in der Krümmung und einem unterdurchschnittlichen Score-Wert von 1,41 im Apikalbereich äußerte.

Eine deutliche Verringerung der Spülwirkung konnte im Krümmungsbereich von 30° bis 50° verzeichnet werden. In diesem Bereich zeigte sich RinsEndo® auf einem gleichen Level wie die CanalBrush™, der EndoActivator® sowie die Handspülung, jedoch signifikant schlechter als das Ultraschallsystem. Dieser Rückgang des Reinigungseffekts spiegelte sich in einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,22 wider. Der Apex zeigte mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,54 einen deutlich schlechteren Reinigungseffekt als die Krümmungsregion mit einem Wert von 1,15.

Untersuchungen von Strömungen in geschlossenen Systemen ergaben, dass bei einem geradlinigen Kanalverlauf ein laminarer, gleichmäßiger Flüssigkeitsstrom mit „normalen“ Fließeigenschaften vorliegt (Gersten 1974). Diese Eigenschaften können durch Veränderung des Kanaldurchmessers und Kanalverlaufs wie z.B. ein starkes Abknicken beeinflusst werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass im koronalen Bereich eine laminare Strömung vorliegt. Kommt es in der Folge zu einer Veränderung der Wurzelkanalkrümmung oder des Wurzelkanalradius, kann angenommen werden, dass sich aufgrund der Abweichungen Strömungsturbulenzen ausbilden.

Bei der Anwendung des hydrodynamischen Geräts RinsEndo® in Wurzelkanälen liegt das Ziel für eine effiziente Reinigung in der künstlichen Entwicklung von Strömungsturbulenzen, da turbulente Strömungen stärker die Kanalwände beanspruchen als laminare Strömungen. In geraden Kanälen konnten Pouch et al. (2007) nachweisen, dass RinsEndo® über die gesamte Wurzelkanallänge Strömungsturbulenzen und damit eine gute Reinigungswirkung bis in den apikalen Bereich entwickelt. Als limitierender Faktor kann in dieser Studie jedoch die Wurzelkanalkrümmung gesehen werden. Aufgrund der schlechteren Reinigungsergebnisse im apikalen Bereich kann davon ausgegangen werden, dass sich die Strömungsturbulenzen nicht effizient über die gesamte Wurzelkanallänge ausbreiten können. Insbesondere die Zunahme der Wurzelkanalkrümmung sowie die vom Ca(OH)_2 erhöhten Wurzelkanalrauigkeiten können eine optimale Weiterleitung des Spülflüssigkeitsstroms verlangsamen und somit einschränken. Die Folge ist jeweils eine Verschlechterung der Reinigungswirkung bei Zunahme der Wurzelkanalkrümmung. Des Weiteren kann es aufgrund der Interferenzen zwischen den natürlichen, durch eine Wurzelkanalkrümmung hervorgerufen und den künstlichen, durch

das RinsEndo® erzeugten Strömungsturbulenzen zu Auslöschungseffekten kommen, so dass eine Weiterleitung der hydrodynamischen Strömung verhindert wird. Die genannten Erklärungen können jedoch lediglich als Vermutungen betrachtet werden. Für eine nähere Bestimmung der Ursachen für diese Effekte wäre die Durchführung einer Untersuchung zu den Fließeigenschaften von Spüllösungen im Wurzelkanal in Abhängigkeit von der Wurzelkanalkrümmung und dem Wurzelkanalradius notwendig.

Im Bereich des niedrigen **Wurzelkanalradius** von 1,0 mm bis 7,5 mm zeigte das Gerät RinsEndo® gleichwertige Spülergebnisse wie Ultraschall, CanalBrush™ und EndoActivator®, jedoch eine signifikant bessere Reinigungswirkung als die Spülung per Hand. Das hydrodynamische Gerät erreichte einen durchschnittlichen Score-Wert von 1,13.

Im Rahmen der differenzierten Aufschlüsselung für den Radiusbereich von 7,6 mm bis 16,0 mm wies RinsEndo® im apikalen Bereich einen signifikant besseren Reinigungseffekt gegenüber der CanalBrush™ und der Handspülung auf sowie einen gleichwertigen Effekt wie Ultraschall und dem EndoActivator®. Im Bereich der Krümmung hingegen konnten zwischen RinsEndo®, Ultraschall, CanalBrush™ und EndoActivator® keine signifikanten Unterschiede verzeichnet werden. Die vier Gruppen waren jedoch der Handspülung signifikant überlegen. Mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,0 wies RinsEndo® einen besseren Reinigungseffekt als bei dem niedrigen Wurzelkanalradius auf.

Eine Erklärung für diesen Effekt kann ebenfalls in dem Strömungsverhalten gesehen werden. In einem Wurzelkanal mit einem hohen Radius, welcher eine geringe bzw. langsame Änderung des Kanalverlaufs bedeutet, kann sich ein „ungestörter“ laminarer Fluss der Spüllösung entwickeln. In der Folge kann RinsEndo® relativ gleichmäßige hydrodynamische Strömungsturbulenzen entwickeln und damit einen besseren Reinigungseffekt bewirken. Hingegen liegt bei einem Wurzelkanal mit einem niedrigen Radius eine starke, abknickende Veränderung der Kanal Anatomie vor, welche in einer Ausbildung starker natürlicher Strömungsturbulenzen resultiert. In der Folge kann es zu Interferenzen zwischen den künstlichen und natürlichen Strömungsturbulenzen bis hin zu Auslöschungserscheinungen kommen. Weiterhin muss von der reduzierten Weiterleitung des Flüssigkeitsstroms ausgegangen werden, welches sich in beiden Radiusbereichen in einem schlechteren Reinigungsergebnis manifestiert.

Abgesehen von der Reinigungswirkung des hydrodynamischen Systems RinsEndo®, welche im Vergleich zu den weiteren Spültechniken mit Ausnahme der Handspülung als tendenziell gut bewertet werden kann, sollten in die Bewertung zusätzliche Effekte, die vor, während und nach der Anwendung auftreten, berücksichtigt werden.

In einer Studie von Hauser et al. (2007) konnte nachgewiesen werden, dass es in 80% der Spülversuche mit RinsEndo® zu einem Übertritt von Spüllösung in das periapikale Gewebe kam. Dieser Effekt konnte im Rahmen dieser Studie ebenfalls beobachtet werden. Bei Vor-

liegen weiter apikaler Foramina kam es wiederholt zu einem Austritt von Flüssigkeit mit hohem Druck aus dem Apex. Die Flüssigkeitsmenge sowie eine Abhängigkeit von der Krümmung bzw. dem Radius wurden jedoch in dieser Studie nicht bewertet. Als kritisch muss dieser Effekt jedoch in der klinischen Anwendung gesehen werden. Bei einem Übertritt von Spüllösungen, insbesondere von NaOCl, in das periapikale Gewebe konnte nachgewiesen werden, dass es zu Gewebenekrosen (Hülsmann und Hahn 2000; Hülsmann et al. 2007) kommen kann, die sich in der Folge in starken Schmerzen, ödematösen Schwellungen, Hämatomen oder Parästhesien manifestieren können (Bowden et al. 2006; Kleier et al. 2008). Die Verwendung des Gerätes RinsEndo® sollte daher bei Zähnen mit nicht-abgeschlossenem Wurzelwachstum, mit weiten apikalen Foramina, Resorptionsprozessen oder Wurzelspitzenresektionen vermieden werden. Ein weiterer negativer Aspekt während des Spülvorgangs war eine verringerte Arbeitssicherheit für den Patienten, den Behandler sowie weitere Mitarbeiter. Neben der Entwicklung eines hohen Geräuschpegels durch das Gerät kam es wiederholt, trotz des Einsatzes des Spritzschutzes, zu einem unkontrollierten, seitlichen Austritt von Spülflüssigkeit. Dies kann bei direktem Hautkontakt zu ausgeprägten Verätzungen führen.

6.2.3 Bewertung der Reinigungseffektivität der CanalBrush™

Die Auswertung hinsichtlich der Reinigungswirkung der CanalBrush™ zeigte, dass das mechanische Instrument eine vergleichbare, nicht signifikant unterschiedliche Reinigungswirkung gegenüber den Spültechniken Ultraschall, RinsEndo® und EndoActivator® zeigte. Der Reinigungseffekt gegenüber der Spülung per Hand war signifikant besser. Mit durchschnittlichen Score-Werten von 1,13 in der mesialen Wurzelhälfte und 1,05 in der distalen Wurzelhälfte erreichte das Gerät einen durchschnittlichen Reinigungseffekt, welcher geringfügig schlechter als der des Ultraschallsystems und des RinsEndo®-Systems war. In Bezug auf die Differenzierung der Spülwirkung zwischen dem Bereich Apex und Krümmung zeigte die CanalBrush™ signifikante Unterschiede, welche sich in der deutlich geringeren Reinigungswirkung im apikalen Bereich manifestierten.

Die CanalBrush™ dient als Instrument für eine mechanische Wurzelkanalreinigung. Mittels des standardisierten Polypropylen-Bürstchens soll sie Dentinspäne, Beläge und sonstige Verunreinigungen entfernen. Für eine effiziente Reinigungswirkung sollte die Anwendung mit verschiedenen Spüllösungen erfolgen, die zusätzlich zwischen den CanalBrush™-Anwendungen in den Wurzelkanal appliziert werden sollten (vergleiche Kapitel 2.5.3, S. 14).

Verschiedene Studien zeigten bereits, dass die Reinigung des apikalen Drittels im Wurzelkanal am schwierigsten ist (Walters et al. 2002; Gutarts et al. 2005). Eine Erhöhung der Reinigungseffektivität konnte entsprechend Untersuchungen von Sedgley et al. (2005) und Huang et al. (2008) mit Hilfe einer Applikation von Spülflüssigkeit mit einer Spritze erreicht werden, die im Bereich des apikalen Drittels platziert wurde. Dies konnte in dieser Studie

durch die Verwendung einer NaviTip-Spülkanüle erreicht werden, welche ohne Wandkontakt nach Möglichkeit bis auf maximal Arbeitslänge platziert wurde.

Hinsichtlich der Untersuchung der CanalBrush™ zur Entfernung von medikamentösen Einlagen, Debris oder *smear layer* liegen zurzeit nur wenige Studien vor, die aufgrund eines vergleichbaren Untersuchungsdesigns mit dieser Studie in Zusammenhang gebracht werden können. Eine Studie von Salman et al. (2010) zeigte, dass bei einer Verwendung der CanalBrush™ ein signifikant besseres Reinigungsergebnis gegenüber Spülungen per Hand erzielt wurde. Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit einer Untersuchung von Garip et al. (2010), in der die CanalBrush™ zwar gegenüber der Handspülung eine bessere Reinigungswirkung zeigte, welche jedoch nicht signifikant war. Konform gehen die Studien in ähnlichen Untersuchungsergebnissen hinsichtlich der Reinigungseffektivität im koronalen, mittleren und apikalen Bereich. Wie in dieser Studie konnte ebenfalls eine deutlich geringere Reinigungswirkung im Bereich des Apex verzeichnet werden.

Taşdemir et al. (2011) untersuchten die CanalBrush™ erstmalig hinsichtlich der Effektivität bei der Entfernung von Kalziumhydroxid. In Übereinstimmung mit dieser Studie wies die Untersuchung für die CanalBrush™ und ein Ultraschallsystem signifikant bessere Reinigungsergebnisse auf als die Spülungen per Hand. Einschränkend muss jedoch angegeben werden, dass in den Studien von Taşdemir et al. (2011), Salmon et al. (2010) und Garip et al. (2010) gerade oder leicht gekrümmte Wurzelkanäle sowie chemische Spüllösungen verwendet wurden, die einen Einfluss auf die Reinigungswirkung besitzen (Salgado et al. 2009).

Die Ergebnisse für den Bereich der schwachen **Wurzelkanalkrümmung** von 20° bis 30° wiesen für die mesiale und distale Wurzelhälfte zwischen den Spültechniken CanalBrush™, Ultraschall, RinsEndo® und EndoActivator® keine signifikanten Unterschiede auf. Lediglich gegenüber der Handspülung schnitt die CanalBrush™ signifikant besser ab. Hinsichtlich der Reinigungseffizienz in den Bereichen Apex und Krümmung ergab sich eine deutlich geringe Spülwirkung für das apikale Areal (mittlerer Score-Wert: Apex 1,41, Krümmung 0,86).

Im stark gekrümmten Wurzelkanal von 30° bis 50° fand sich ein vergleichbares Niveau zwischen CanalBrush™, RinsEndo® und EndoActivator®. Gegenüber Ultraschall wies die CanalBrush™ ein signifikant schlechteres Reinigungsergebnis auf, im Vergleich zur Handspülung aber eine signifikant bessere Reinigungswirkung. In diesem Krümmungsbereich wurde ein durchschnittlicher Score-Wert von 1,17 erreicht, welches den zweitbesten Wert nach dem Ultraschallsystem darstellt. Im Bereich der Krümmung (1,15) zeigte sich eine effizientere Reinigung als im Bereich des Apex (1,54). Die erreichten Score-Werte waren jedoch insgesamt schlechter als bei der geringen Wurzelkanalkrümmung.

Die Resultate entsprechen überwiegend denen der Studie von Salman et al. (2010), in welcher die distalen Wurzeln von Unterkiefermolaren und die palatinalen Wurzeln von Oberkiefermolaren verwendet wurden. Obwohl in dieser Studie keine Klassifizierung der Krümmung

vorgenommen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass an diesen Wurzelkanälen eine leichte Krümmung vorlag und eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Die Ursache für dieses Ergebnis wurde damals u.a. in einer guten Platzierbarkeit der CanalBrush™ gesehen, welche in stark gekrümmten Wurzelkanälen erschwert ist.

Zwischen den unterschiedlichen Reinigungsergebnissen für die Bereiche Krümmung und Apex kann eine Abhängigkeit von der Wurzelkanalkrümmung gesehen werden. Obwohl eine passive Anwendung während des Spülvorgangs angestrebt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass es mit Zunahme der Krümmung zu einem stärkeren Kontakt zwischen der CanalBrush™ und dem Wurzelkanal im gekrümmten Bereich kam und damit in diesem Areal eine bessere Reinigungswirkung resultierte. Als kritisch sind jedoch die verstärkte Abnutzung der Borsten sowie ein erhöhtes Risiko einer Fraktur des Polypropylen-Stabes zu sehen. Plotino et al. (2009) untersuchten in diesem Zusammenhang die mechanischen Eigenschaften der CanalBrush™. Es konnte gezeigt werden, dass die CanalBrush™ bei einer Anwendung in geraden und gekrümmten Wurzelkanälen nach 1, 3 und 5 Minuten entsprechende Gebrauchsspuren aufwies, es jedoch zu keiner Fraktur kam. Im Rahmen dieser Studie konnte ebenfalls ein enger Zusammenhang zwischen der Anwendungsdauer und der Beanspruchung der CanalBrush™ beobachtet werden, auf die aber in dieser Studie nicht weiter eingegangen wird. Insbesondere nach der Verwendung in stark gekrümmten Wurzelkanälen zeigte sich wiederholt der Verlust von einzelnen Borsten im mittleren und apikalen Bereich des Stabes. Die Borsten konnten durch die Spülung jedoch aus dem Wurzelkanal entfernt werden. Um diesen Effekt in der Folge auszuschließen und gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen, wurde für jeden Wurzelkanal eine neue CanalBrush™ verwendet.

Die schlechteren Reinigungsergebnisse wurden auch in dieser Gruppe im Bereich des Apex erreicht. Es kann dennoch davon ausgegangen werden, dass es bei der Anwendung der CanalBrush™ zu einer mechanischen Verdichtung von Ca(OH)_2 -Resten im apikalen Drittel kam, was in der Folge eine Entfernung mittels einer Spüllösung zusätzlich erschwerte.

Der CanalBrush™ erzielte bei einem niedrigen **Wurzelkanalradius** von 1 mm bis 7,5 mm gleichwertige Reinigungsergebnisse wie Ultraschall, RinsEndo® und EndoActivator®. Die Spülung per Hand zeigte sich erneut als signifikant schlechter. Mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,09 erreichte die CanalBrush™ ein durchschnittliches Ergebnis hinter dem EndoActivator® und dem Ultraschall. In Bezug auf die Lokalisation zeigte sich eine effizientere Reinigung im Bereich der Krümmung (0,98) gegenüber dem Apex (1,48).

Ein hoher Radius von 7,6 mm bis 16,0 mm resultierte im Bereich der Krümmung für die CanalBrush™ in einem vergleichbaren Reinigungsergebnis wie die Spültechniken Ultraschall, RinsEndo® und EndoActivator®. Die Handspülung schnitt erneut signifikant schlechter ab. In diesem Bereich zeigte sich die CanalBrush™ mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,58 als beste Reinigungstechnik. Relativiert wird dies Ergebnis jedoch durch die Betrachtung des apikalen Bereichs. In diesem Areal wies die CanalBrush™ zwar eine

gleichwertige Reinigungswirkung wie der EndoActivator® auf, reinigte jedoch signifikant schlechter als die Systeme Ultraschall und RinsEndo®. Die Handspülung zeigte eine signifikant schlechtere Reinigungswirkung. Mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,60 erzielte die CanalBrush™ das zweitschlechteste Ergebnis.

Der Einfluss des Radius auf die Reinigungswirkung der CanalBrush™ ist nicht vernachlässigbar. Ein kleiner Radius bedeutet eine abrupte, starke Veränderung des Kanalverlaufs, welche in einer erschwerten Erreichbarkeit des nachfolgenden apikalen Wurzelkanalanteils resultiert. Mit einem Reinigungsscore von 0,98 in der Krümmung und 1,48 im Apex erreichte die CanalBrush™ eine durchschnittliche Reinigungseffizienz. Als kritisch ist jedoch zu sehen, dass es während der Spülanwendung zu einer Fraktur des apikalen CanalBrush™-Anteils bei fünf von 20 Zähnen in dieser Spülgruppe kam. Auffällig war in diesem Zusammenhang, dass vier von den fünf Zähnen einen relativ niedrigen Radius aufwiesen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die CanalBrush™ bei einer starken Kanalveränderung im Abknickungsbereich erhöhtem Materialstress unterliegt, welches in einer verminderten Reinigungswirkung oder in der Fraktur des Bürstchens resultieren kann. Die Wurzelkanäle mit den frakturierten CanalBrush™-Anteilen wurden nicht in die Studie mit einbezogen, da eine objektive Bewertung der Reinigungseffizienz nach Abbruch des Bürstchens nicht mehr möglich war.

Hingegen konnte bei einem hohen Radius eine deutlich verbesserte Reinigungswirkung verzeichnet werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Bereich für die CanalBrush™ gut erreichbar.

6.2.4 Bewertung der Reinigungseffektivität des EndoActivators®

Das schallaktivierte Reinigungsinstrument EndoActivator® wies eine tendenziell schlechtere Reinigungseffizienz auf. Obwohl das Gerät in der mesialen und distalen Wurzelhälfte gegenüber den anderen Spültechniken wie Ultraschall, RinsEndo® und CanalBrush™ keinen signifikanten Unterschied zeigte, ist die erzielte Reinigungswirkung mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,19 (mesial) und 1,08 (distal) eher gering. Gegenüber der Spülung per Hand schnitt es signifikant besser ab. In Übereinstimmung mit den anderen Spültechniken wurde mit dem EndoActivator® ebenfalls im Bereich der Krümmung eine signifikant bessere Reinigungswirkung erreicht als apikal.

Der EndoActivator® strebt eine Aktivierung der Spüllösung im Wurzelkanal über die Entwicklung oszillierender Schallwellen mit einer Frequenz von 1 bis 6Hz an. Diese hydrodynamischen Schwingungen werden über Polymer-Aufsätze in den Wurzelkanal übertragen und sollen reinigende Strömungsturbulenzen hervorrufen (vergleiche Kapitel 2.5.4, S. 15).

Eine Studie zur Untersuchung der Fließeigenschaften schallaktivierter Instrumente und Ultraschallgeräte und ihr Einfluss auf die Reinigungseffizienz in Wurzelkanälen führten Jiang et al. (2010) durch. In Übereinstimmung der Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten Jiang et

al. nachweisen, dass die Ursache für eine Überlegenheit der Ultraschallspülung in den unterschiedlichen Frequenzentwicklungen zwischen Ultraschall (30000Hz) und dem EndoActivator® (160-190Hz) liegt. Folge einer erhöhten Frequenz ist eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit (Ahmad et al. 1987) und damit eine höhere Reinigungswirkung. Nebeneffekt dieser Studie war, dass herausgefunden wurde, dass der EndoActivator® deutlich höhere Frequenzen mit 160 bis 190 Hz erreicht als die vom Hersteller angegebenen 1 bis 6Hz (Jiang et al. 2010).

Studien zur Entfernbareit von Debris-Rückständen aus gekrümmten Wurzelkanälen unter der Verwendung des EndoActivators® zeigten, dass eine signifikant bessere Reinigungswirkung im koronalen Bereich gegenüber dem apikalen Bereich erreicht wurde (Klyn et al. 2010; Rödiger et al. 2010b). Als Ursache hierfür wurde eine dämpfende Wirkung der apikalen Kanalwand angenommen, welche die optimale Schwingung reduziert und damit eine entsprechende Reinigungswirkung begrenzt (Rödiger et al. 2010b). Der Aktivator-Tip entwickelt im apikalen Bereich des Wurzelkanals eine Amplitude von bis zu 1 mm, wohingegen der Wurzelkanal im Apex oftmals lediglich einen Durchmesser von 0,5 mm erreicht. Folglich wird die Amplitude aufgrund des geringeren Durchmessers im Apex reduziert und durch den verstärkten Wandkontakt des Aktivator-Tips kommt es zur Abnahme der Schwingungsfrequenz (Jiang et al. 2010). Dies zieht eine geringere Reinigungswirkung nach sich. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit Zunahme der Wurzelkanalkrümmung und/oder mit Verringerung des Wurzelradius eine Abnahme der Reinigungswirkung eintritt.

2011 untersuchten Wiseman et al. die Effizienz des EndoActivators® bei der Entfernung von Ca(OH)_2 aus gekrümmten Wurzelkanälen. In dieser Studie wurden Zähne mit einer Krümmung von 20° bis 30° verwendet, welches den schwachen Krümmungen in der vorliegenden Studie entspricht. Es zeigte sich, dass der EndoActivator® im Durchschnitt 48,6% der Kanaloberfläche von Ca(OH)_2 reinigen konnte. Eine signifikante Steigerung der Reinigungseffizienz konnte jedoch in einer kombinierten Anwendung mit rotierenden Instrumenten (71,5%) erreicht werden. Eingeschränkt wird der Vergleich der Studien jedoch hinsichtlich des Einsatzes chemisch aktiver Spüllösungen sowie die Verwendung eines anderen Bewertungssystems. Konform waren die Untersuchungen in dem Ergebnis, dass die Spülung mit einem Ultraschallsystem dem EndoActivator® signifikant überlegen war.

Wird dagegen die Handhabung in Vergleich mit den anderen Geräten betrachtet, konnte der praktische Umgang mit dem EndoActivator® als positiv gesehen werden. Dies basierte darauf, dass der Einsatz des Polymer-Tips maßgeblich das Risiko einer Beeinträchtigung der Wurzelkanaloberfläche verringert. Des Weiteren entwickelte sich nur eine geringe Geräuschkulisse, welches als positiv für Behandler und Patient angesehen wurde. Als einschränkend kann die notwendige manuelle Applikation der Spüllungslösung zwischen den Arbeitsschritten gesehen werden.

Die Untersuchungsergebnisse für den EndoActivator® in Wurzelkanälen mit schwachen **Wurzelkanalkrümmungen** von 20° bis 30° zeigten im Vergleich zu den Spültechniken Ultraschall, RinsEndo® und CanalBrush™ keine signifikanten Unterschiede, wohingegen die Handspülung signifikant schlechter abschnitt. Mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,0 erreichte der EndoActivator® das zweitbeste Reinigungsergebnis in dieser Gruppe. Hinsichtlich der Reinigungswirkung in den Bereichen Krümmung und Apex wies das Schallgerät eine signifikante Überlegenheit im gekrümmten Bereich (0,86) gegenüber dem apikalen Bereich (1,41) auf.

Eine deutlich geringere Reinigungswirkung erreichte der EndoActivator® in Zähnen mit einer starken Wurzelkanalkrümmung von 30° bis 50° mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,38. Zwar war das Gerät auf einem vergleichbaren Niveau wie RinsEndo® und CanalBrush™, jedoch signifikant schlechter als Ultraschall. Lediglich gegenüber der Spülung per Hand schnitt es signifikant besser ab. Der EndoActivator® reinigte apikal ebenfalls signifikant schlechter (1,54) als im Bereich der Krümmung (1,15).

Die Resultate für Wurzelkanäle mit schwachen Krümmungen sind mit denen der Studien von Wiseman et al. (2011) und Klyn et al. (2010) vergleichbar. Sowohl in der Studie von Wiseman et al. (2011) mit einer definierten Wurzelkanalkrümmung von 20° bis 30° als auch in der Studie von Klyn et al. (2010) mit einer Wurzelkanalkrümmung $\leq 25^\circ$ konnte eine schlechte Reinigungswirkung nachgewiesen werden. Des Weiteren waren im Bereich des Apex wie in dieser Studie signifikant mehr Verunreinigungen lokalisiert als im Bereich der Krümmung. Als Ursache kann, wie bereits angeführt, eine verminderte Schwingungsamplitude des Aktivator-Tips gesehen werden, die infolge des reduzierten Wurzelkanaldurchmessers als auch durch die Ausprägung der Krümmung reduziert wurde (Jiang et al. 2010). Infolgedessen kommt es zu einer Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit und einer Abnahme der Reinigungswirkung.

Bestätigt wird diese Annahme durch die Reinigungsresultate für Wurzelkanäle mit starken Krümmungen von 30° bis 50°. Aufgrund der Zunahme der Krümmung kommt es zu einem verstärkten Kontakt zwischen dem Aktivator-Tip und der Wurzelkanaloberfläche, was in einer verringerten Schwingungsamplitude und damit in einer schlechteren Reinigungswirkung resultiert. Rödiger et al. (2010b) konnten zeigen, dass bei einer durchschnittlichen Krümmung von 38,5° der koronale Wurzelkanalbereich effektiver gereinigt wurde als der apikale Bereich. Als Ursache hierfür kann die größere, effektivere Schwingungsamplitude in dem breiteren Wurzelkanalanteil gegenüber der verminderten Schwingungsamplitude in dem kleineren, schwerer erreichbaren apikalen Anteil vermutet werden.

Berücksichtigt werden sollte weiterhin, dass die klinische Krone im Vorfeld entfernt und damit ein Teil des koronalen Wurzelkanals eliminiert wurde, der normalerweise als Reservoir für die Spülflüssigkeit dient. Bei einer Aktivierung des EndoActivators® kann es zu einem schnelleren Flüssigkeitsverlust über den koronalen Wurzelkanalanteil kommen und damit der

Aufbau eines hydrostatischen Drucks in Richtung des Apex reduziert werden, welches in einer geringeren Reinigungswirkung resultiert.

Die Untersuchung hinsichtlich der Reinigungseffizienz des EndoActivators® in Wurzelkanälen mit einem kleinen **Krümmungsradius** von 1 mm bis 7,5 mm zeigte, dass das Gerät keine signifikanten Unterschiede zu den Spültechniken Ultraschall, RinsEndo® und CanalBrush™ aufwies. Eine signifikante Überlegenheit wurde gegenüber der Handspülung erreicht. In diesem Radiusbereich erlangte der EndoActivator® mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,0 die beste Reinigungswirkung. Hinsichtlich der Reinigungswirkung in Abhängigkeit von der Lokalisation konnte im Bereich der Krümmung mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 0,98 eine gute Reinigungseffizienz gegenüber dem Apex mit 1,48 verzeichnet werden.

Für den Radiusbereich von 7,6 mm bis 16,0 mm ergab sich für den EndoActivator® gegenüber den Spültechniken Ultraschall, RinsEndo® und CanalBrush™ ein vergleichbares Ergebnis. Lediglich die Spülung per Hand schnitt erneut signifikant schlechter ab. Hinsichtlich der Lokalisationen erreichte das Gerät im Bereich der Krümmung einen durchschnittlichen Score-Wert von 0,93 und im Bereich des Apex einen Wert von 1,43.

Als Ursache für die bessere Reinigungswirkung in dem hohen Radiusbereich kann die effektivere Wirkungsweise des Aktivator-Tips gesehen werden. Der hohe Radius, welcher einer langsamen Veränderung des Kanalverlaufs entspricht, erlaubt eine freiere Schwingung des Polymer-Stabes im Wurzelkanal und damit eine Erhöhung der Reinigungswirkung. Dass hingegen der niedrige Radiusbereich ebenfalls gute Reinigungsergebnisse aufweist, kann in dem Vorliegen eines größeren koronalen Flüssigkeitsreservoirs begründet liegen. Obwohl eine abrupte Veränderung des Kanalverlaufs, die zumeist im apikalen Drittel an Ausprägung gewinnt, eine starke Reduzierung der Schwingungsamplitude bedeutet, kann davon ausgegangen werden, dass der hohe Anteil an Flüssigkeit im Wurzelkanal einen verbesserten hydrodynamischen Druck erzeugt und damit eine befriedigende Reinigungswirkung durch den EndoActivator® resultiert.

6.2.5 Bewertung der Reinigungseffektivität der Handspülung (Kontrollgruppe)

Die Handspülung erzielte gegenüber den Spültechniken Ultraschall, RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator® in der mesialen und distalen Wurzelhälfte signifikant schlechtere Ergebnisse. Mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,77 in beiden Wurzelhälften konnten mit der Spülung per Hand zwar mehr als 50% der Wurzelkanalwände gereinigt werden, jedoch blieben zahlreiche $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Rückstände der Wurzelkanaloberfläche aufgelagert. Die differenzierte Betrachtung der Lokalisationen erbrachte eine geringere Reinigungswirkung im Bereich des Apex gegenüber der Krümmungsregion.

Die alleinige Anwendung einer Handspülung mit dem Ziel, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aus einem Wurzelkanal zu entfernen, kann als unzureichend angesehen werden. Goldman et al. konnten bereits

1976 nachweisen, dass die wesentliche Spülwirkung im koronalen und mittleren Wurzelkanalbereich liegt. Eine Steigerung der Reinigungswirkung insbesondere im apikalen Bereich konnte in der Folge durch eine exaktere Platzierung einer feineren Applikationsnadel nahe des Apex erreicht werden (Sedgley et al. 2005). Huang et al. (2008) betonten den Einfluss der Faktoren Spülflüssigkeitsvolumen, apikale Aufbereitungsweite, Art der Wurzelkanalpräparation und der Art der Spülung (statisch/dynamisch) hinsichtlich der Reinigungseffizienz. Für die Schaffung einer optimalen Ausgangslage wurden entsprechend der Studie von Huang et al. (2008) eine praxisnahe durchschnittliche Spülmenge von 18,6 ml verwendet und eine apikale Aufbereitung bis zur ISO-Größe 35, eine weite maschinelle Präparation mit einer Konizität von 6% und eine dynamische Spülung in Form von Hubbewegungen durchgeführt. Boutsoukis et al. (2007) stellten weiterhin die Fließrate und den Flüssigkeitsaustausch in den Vordergrund, die einen Einfluss auf die Spülwirkung an der Kanülenspitze besitzen. Ein Vergleich der meisten Studien ist dabei jedoch nur eingeschränkt möglich, da aufgrund der manuellen Handhabung Elemente wie die Fließrate, der Spüldruck oder die Anwendungsmethodik im Wurzelkanal nicht klar definiert und in der Folge darüber keine Angaben gemacht werden konnten.

Dennoch wurde in dieser Studie im Gegensatz zu weiteren Untersuchungen von Abou-Rass und Piccinino (1982), Sedgley et al. (2005) oder Huang et al. (2008) im apikalen Bereich keine gründlichere Reinigungswirkung durch eine ideale Platzierung der feinen Applikationsnadel erreicht. Als Ursache für die Unterschiede können die Faktoren Wurzelkanalkrümmung und Wurzelkanalradius gesehen werden, da die genannten Studien in geraden Wurzelkanälen durchgeführt wurden.

Als weitere limitierende Faktoren liegen Kanalunregelmäßigkeiten vor, die ebenfalls in Form von Isthmen, Einbuchtungen und weiteren Veränderungen in den Wurzelkanälen dieser Studie zu finden waren. In diesen Bereichen konnten oftmals vermehrte Rückstände von Debris nachgewiesen werden, die in der Folge eine Reinigung mit der manuellen Handspülung erschwerten (Cunningham et al. 1982).

Bei schwachen **Wurzelkanalkrümmungen** von 20° bis 30° zeigte die Handspülung gegenüber den übrigen getesteten Spültechniken das signifikant schlechteste Reinigungsergebnis. In der mesialen Wurzelhälfte wurde ein durchschnittlicher Score-Wert von 1,63 und in der distalen Wurzelhälfte von 1,86 erzielt. Hinsichtlich der Reinigungswirkung in den Bereichen der Krümmung und des Apex wies die Handspülung eine signifikante Überlegenheit im gekrümmten Areal auf.

Vergleichbare Reinigungsergebnisse wurden im starken Krümmungsbereich von 30° bis 50° mit einem durchschnittlichen Score-Wert von 1,79 nachgewiesen. Auffällig war bei diesen starken Krümmungen die vergleichbare Reinigungswirkung der Handspülung und der Spültechniken EndoActivator® und RinsEndo®. Ultraschall und CanalBrush™ schnitten signifi-

kant besser ab. Hinsichtlich der Lokalisationen wies diese Gruppe ebenfalls ein signifikant besseres Reinigungsergebnis im Bereich der Krümmung gegenüber der Apikalregion auf.

Die schlechtere Reinigungswirkung kann auf die erhöhte Schwierigkeit bei der Platzierung im Wurzelkanal zurückgeführt werden. Sedgley et al. (2005) empfehlen eine Applikationstiefe bis 1 mm vor dem Apex, um eine optimale Reinigungswirkung zu erreichen. Zwar wurde in der durchgeführten Studie der Navi-Tip in Richtung der Wurzelkanalkrümmung vorgebogen, jedoch musste von einer unterschiedlichen Krümmung des Navi-Tips und des Wurzelkanals ausgegangen werden. Dies führte dazu, dass die Reinigungswirkung des Navi-Tips bei ungleicher Krümmung nicht optimal ausgenutzt wurde. Somit konnte eine optimale Applikation bis kurz vor den Apex nicht immer gewährleistet werden. Ram konnte bereits 1977 nachweisen, dass abhängig vom manuellen Druck die Spüllösung maximal 1 mm bis 2 mm tiefer als die Nadelspitze in den Wurzelkanal eindringt. Kann die Spülkanüle aufgrund der Wurzelkanalkrümmung nicht gut platziert werden, muss davon ausgegangen werden, dass die Spüllösung den apikalen Bereich nicht erreicht und kein ausreichender Spüleffekt eintritt.

Die Spülung per Hand erreichte bei **Wurzelkanalradien** von 1 mm bis 7,5 mm sowie 7,6 mm bis 16,0 mm ein signifikant schlechteres Resultat als Ultraschall, RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator®. In Bezug auf die Lokalisation zeigte sich eine effizientere Reinigung im Bereich der Krümmung gegenüber dem Apex.

Im Vorfeld des Spülvorgangs wird eine optimale Platzierung bis kurz vor dem Apex angestrebt. Bei einer abrupten Änderung des Kanalverlaufs wird die Platzierung im Wurzelkanal ohne Wandkontakt jedoch erheblich erschwert bzw. verhindert. Aufgrund dessen kann davon ausgegangen werden, dass eine effiziente Spülung im apikalen Bereich nicht bzw. nur unzureichend möglich ist. Entsprechend der Studie von Goldman et al. (1976) zeigt sich in der Folge ein gutes Reinigungsergebnis lediglich im mittleren und koronalen Anteil des Wurzelkanals.

Zusammenfassend kann eine alleinige Verwendung einer manuellen Spülung als nicht ausreichend gewertet werden. Zwar kann durch eine weite Präparation eine optimale Platzierung der Spülkanüle im Wurzelkanal, eine ausreichende Spülmenge und eine dynamische Spülbewegung die Spüleffizienz der Handspülung gesteigert werden, jedoch muss davon ausgegangen werden, dass unter Einbeziehung limitierender Faktoren wie Wurzelkanalkrümmung oder Wurzelkanalradius eine Spültechnik mit Aktivierung der Spüllösung einer Handspülung überlegen ist. Als positiv kann bei der Handspülung jedoch die schnelle und einfache Vorbereitung sowie die leichte Handhabung gewertet werden.

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Aus der vorliegenden Studie zur Entfernung von Kalziumhydroxideinlagen aus gekrümmten Wurzelkanälen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Eine vollständige Entfernung der medikamentösen Einlage Kalziumhydroxid konnte mit keiner der verwendeten Spültechniken erreicht werden.
- Zwischen den Spültechniken Ultraschall, RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator® konnten keine signifikanten Unterschiede in der Reinigungswirkung festgestellt werden. Tendenziell zeigte die ultraschallaktivierte Spülung das beste Reinigungsergebnis.
- Die Handspülung erzielte durchgängig die schlechtesten Resultate.
- Die Wurzelkanalkrümmung besitzt einen signifikanten Einfluss auf die Reinigungswirkung der verwendeten Spültechniken. Eine Überlegenheit eines einzelnen Spülsystems in den Krümmungsbereichen 20° bis 30° und 30° bis 50° konnte nicht nachgewiesen werden. Mit Zunahme des Krümmungswinkels verringerte sich die Reinigungswirkung der vier getesteten Systeme.
- Des Weiteren wird die Reinigungseffizienz der Spültechniken ebenfalls von der Größe des Wurzelkanalradius beeinflusst. Mit Abnahme des Radius konnte eine verringerte Spülwirkung verzeichnet werden. Zwar wurde für die Spülsysteme Ultraschall, RinsEndo®, CanalBrush™ und EndoActivator® eine vergleichbare Reinigungswirkung nachgewiesen, dennoch zeigte das Ultraschallsystem tendenziell die höchste Reinigungseffizienz.
- Eine signifikante Differenz zwischen den Lokalisationen im Bereich der Wurzelkrümmung und des Apex konnte festgestellt werden. Alle Spültechniken erreichten im apikalen Kanalbereich signifikant schlechtere Reinigungsergebnisse als im Bereich der Krümmung.

In Übereinstimmung mit der Literatur ist eine Aktivierung der Spülflüssigkeit einer alleinigen Spülung per Hand vorzuziehen. Ob die kombinierte Anwendung chemisch aktiver Spüllösungen mit den getesteten Spültechniken in einer erhöhten Reinigungseffizienz resultiert, muss in weiteren Studien untersucht werden.

In der Literatur liegen verschiedene Untersuchungen vor, die neue Spültechniken in Relation zu etablierten Techniken gesetzt und die Effizienz bei der Entfernbareit von medikamentösen Einlagen wie Kalziumhydroxid untersucht haben. Diese Untersuchungen verfolgten dabei das Ziel, die Spültechniken unter praxisnahen Bedingungen anzuwenden und dabei alle beeinflussenden Faktoren zu berücksichtigen. Parameter wie die Wurzelkanalkrümmung und der Wurzelkanalradius spielen dabei eine elementare Rolle, die jedoch bisher sehr einge-

schränkt bzw. gar nicht untersucht wurden. In zukünftigen Studien sollte daher ein vermehrtes Augenmerk auf diese Faktoren gelegt werden, um in der Praxis ein differenziertes Konzept bei der Behandlung verfolgen zu können. Des Weiteren sollte bei der technischen Entwicklung neuer Spülsysteme die Wurzelkanalkrümmung und der Wurzelkanalradius individuell berücksichtigt werden. Wie die Entwicklung der Nickel-Titan-Instrumente bei der Wurzelkanalpräparation einen großen Fortschritt bedeutete, könnte eine individuelle, speziell auf die Wurzelkanalanatomie abgestimmte Spültechnik die endodontische Therapie maßgeblich verändern.

8 Zusammenfassung

Ziel der Studie: Das Ziel dieser Untersuchung war der Vergleich von neuartigen und klassischen Spültechniken bei der Entfernung der medikamentösen Einlage Kalziumhydroxid aus gekrümmten Wurzelkanälen unter Berücksichtigung der Variablen Wurzelkanalkrümmung und Wurzelkanalradius.

Material und Methode: Für die Studie wurden 100 humane, extrahierte Unterkiefermolaren ausgewählt, die eine Wurzelkanalkrümmung von 20° bis 50° und einen Wurzelkanalradius von 1 mm bis 16 mm aufwiesen. Die Bestimmung der Wurzelkanalkrümmung und des Wurzelkanalradius erfolgte entsprechend den Klassifizierungsrichtlinien nach Pruett et al. (1997). Für die Untersuchung wurden jeweils die mesialen Wurzelkanäle verwendet, die bis zu einer Größe von 02/35 erweitert wurden. Die 100 Zähne wurden randomisiert in fünf Gruppen (n=20) verteilt. Anschließend wurde die medikamentöse Einlage in Form des Kalziumhydroxidpräparats Calxyl®Blau in den Wurzelkanal eingebracht. Eine homogene Verteilung des Kalziumhydroxids im gesamten Wurzelkanal wurde mit einer Röntgenaufnahme überprüft. Die Zähne wurden für einen Zeitraum von sieben Tagen in einem Inkubator bei 37°C und 100% Luftfeuchtigkeit gelagert. Anschließend erfolgte die Spülung der Wurzelkanäle entsprechend einem Spülprotokoll mit 6 x 30 Sekunden langen Zyklen und einer Gesamtpülmenge von 18,6 ml destilliertem Wasser mit den Spültechniken Ultraschall (Gruppe 1), RinsEndo® (Gruppe 2), CanalBrush™ (Gruppe 3), Endo-Activator® (Gruppe 4) und Handspülung (Gruppe 5: Kontrollgruppe). Nach dem Spülprozess wurden die mesialen Wurzelkanäle in vestibulo-lingualer Richtung gespalten und unter einem Auflichtmikroskop durch zwei Reader in zwei Bewertungsdurchgängen ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine Digitalisierung der Wurzelkanalhälften. Für die Auswertung wurden ein Scoring-System von Lambrianidis et al. (2006) modifiziert und fünf Reinigungsstufen definiert. Für die statistische Auswertung wurde ein nicht-parametrisches Analyseverfahren angewandt

Ergebnisse: Eine vollständige Entfernung der medikamentösen Einlage Kalziumhydroxid konnte mit keiner der verwendeten Spültechniken erreicht werden. Die Spültechniken Ultraschall, RinsEndo®, CanalBrush™ und Endo-Activator® zeigten zwar gleichwertige Reinigungsergebnisse, jedoch wies die ultraschallaktivierte Spülung im Mittel die beste Reinigungswirkung auf. Ein signifikanter Einfluss der Parameter Wurzelkanalkrümmung und Wurzelkanalradius auf die Reinigungsergebnisse konnte nachgewiesen werden. Mit Zunahme der Wurzelkanalkrümmung bzw. mit Abnahme des Wurzelkanalradius wurde eine verringerte Reinigungswirkung aller Spültechniken verzeichnet. Weiterhin lag die Reinigungseffizienz im Bereich der Krümmung in allen Versuchsabschnitten signifikant höher als im Bereich des Apex.

Schlussfolgerung: Bei jeder endodontischen Behandlung eines Zahnes sollten die individuelle Wurzelkanalkrümmung und der individuelle Wurzelkanalradius bei der Auswahl der Spültechnik berücksichtigt werden. Tendenziell liegt eine leichte Überlegenheit der ultra-

schallaktivierten Spülung bei der Entfernung von Kalziumhydroxid aus gekrümmten Wurzelkanälen vor.

9 Anhang

9.1 Beispiele für Kontrollbilder



Abbildung 9-1: Beispiel eines Kontrollbildes zur Überprüfung der Wurzelkanalkrümmung und des Wurzelkanalradius



Abbildung 9-2: Beispiel eines Kontrollbildes nach Applikation des Kalziumhydroxids zur Überprüfung einer homogenen Verteilung im Wurzelkanal

9.2 Zusatz Ergebnisse

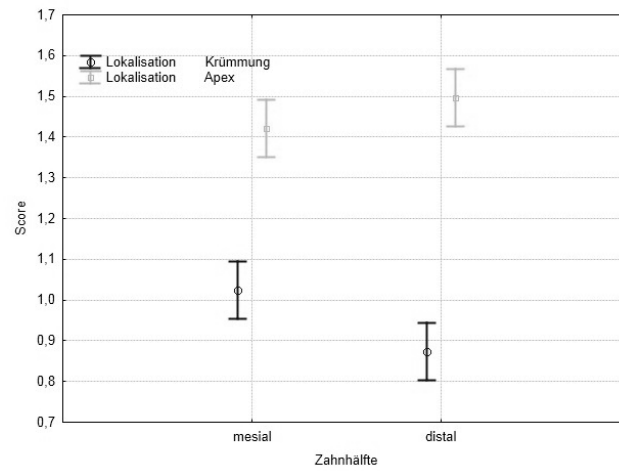


Abbildung 9-3: Wechselwirkung Wurzelhälfte / Lokalisation

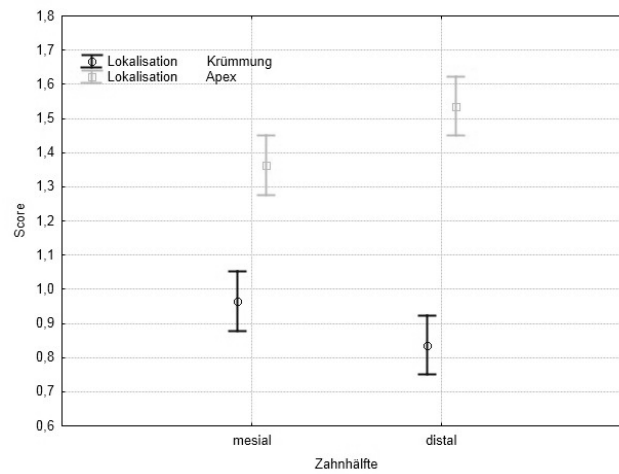


Abbildung 9-4. Wechselwirkung Wurzelhälfte / Lokalisation für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°

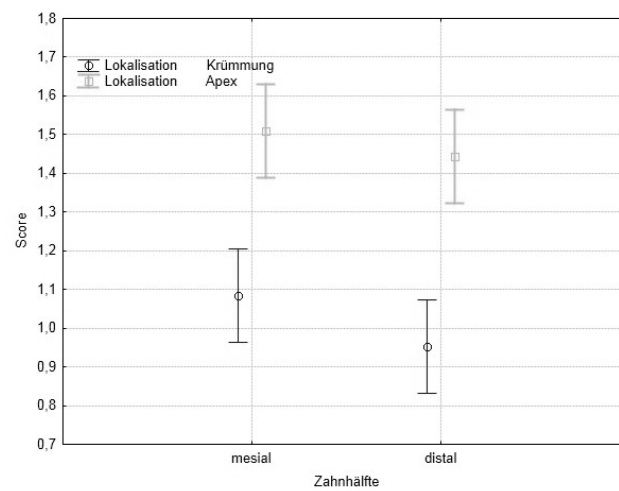


Abbildung 9-5: Fehlende Wechselwirkung Wurzelhälfte/ Lokalisation für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°

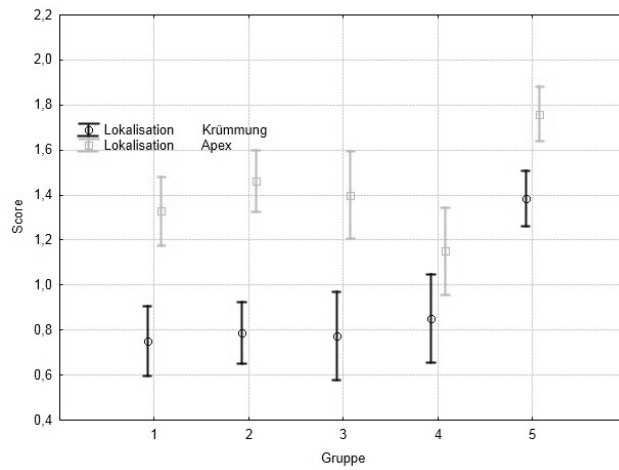


Abbildung 9-6: Fehlende Wechselwirkung Gruppe / Lokalisation für Zähne mit dem Radiusbereich von 1,0 mm bis 7,5 mm

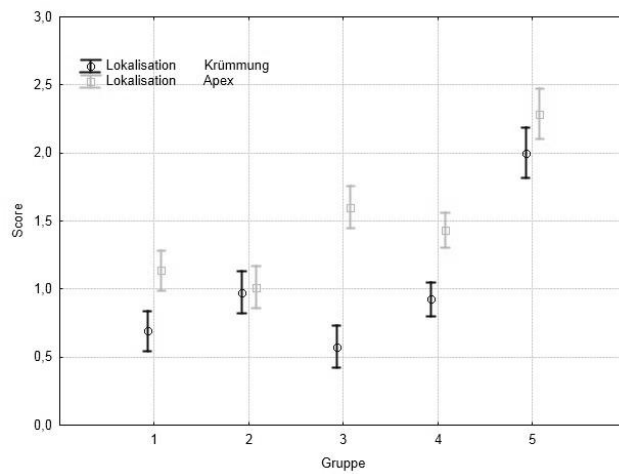


Abbildung 9-7: Wechselwirkung Gruppe / Lokalisation für Zähne mit dem Radiusbereich von 7,6 mm bis 16,0 mm

9.3 Material- und Geräteübersicht

- Auswertungsprogramme
 - Computer-Programm Sidexis (Sirona, Bensheim, Deutschland)
 - Computer-Programm SAS - Version 9.2(SAS Institute, Cary, North Carolina, USA)
 - Computer-Programm Statistika – Version 10.0 (StatSoft®, Tulsa, Oklahoma, USA)
- Gerätschaften
 - Auflichtmikroskop (Motic Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland)
 - CanoScan LIDE 200 (Canon, Krefeld, Deutschland).
 - Digitalkamera (Moticam 1300, Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland)
 - Inkubator KBF 115 (Binder GmbH, Tuttlingen, Deutschland)
 - Polierscheibe (Sirona, Bensheim, Deutschland)
 - Röntgengerät: Heliodent DS (D3302) (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland)
- Instrumente
 - Diamantierte Trennscheibe (Horico, Berlin, Deutschland)
 - Fingerspreader (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland)
 - FlexMaster®-System (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland)
 - Hedströmfeile (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland)
 - Le Cron-Modellierinstrument (Zepf Instruments Germany, Tuttlingen, Deutschland)
 - NaviTip-Spülnadel (Ultradent, München, Deutschland)
 - Pasteinject® ISO 40 (Micro-Mega, Besançon, Frankreich)
 - Reamer (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland)
- Spülgeräte
 - CanalBrush™ (Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland)
 - EndoActivator® (Dentsply Tulsa Dental Specialties, York ,PA , USA)
 - RinsEndo® (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland)
 - Ultraschallgerät Piezon® Master 400 (EMS, Nyon, Schweiz)
- Verbrauchsmaterialien
 - Calxyl® (OCO Präparate GmbH, Dirmstein/Pfalz, Deutschland)
 - Cavit® (3M ESPE, Neuss, Deutschland)
 - Silaplast (Dentax GmbH & Co. KG, Ettlingen, Deutschland)

9.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Schematische Darstellung zur Bestimmung der Wurzelkanalgeometrie nach Schneider (1971, S. 272).....	4
Abbildung 2-2: Schematische Darstellung zur Bestimmung der Wurzelkanalgeometrie nach Pruett et al. (1997, S. 79)	5
Abbildung 2-3: Durch den Einsatz eines Ultraschallgeräts erzeugte Strömungsturbulenzen (van der Sluis et al. 2007b, S. 418).....	9
Abbildung 2-4: Schematische Darstellung des Systems RinsEndo® (Dürr Dental AG 2012).....	12
Abbildung 2-5: Polypropylen-Bürstchen CanalBrush™	14
Abbildung 2-6: Darstellung des EndoActivator® mit Aktivator-Tip Größe M (Dentsply Tulsa Dental Specialties 2012).....	16
Abbildung 4-1: links: Methode zur Bestimmung des Krümmungswinkels; rechts: Methode zur Bestimmung des Krümmungsradius	27
Abbildung 4-2: Beispiele für die Bewertungsscores 0 bis 4 (W = Wurzelkanal).....	34
Abbildung 5-1: Unterschiede zwischen den Gruppen in der mesialen Wurzelhälfte	39
Abbildung 5-2: Einfluss der Lokalisation in der mesialen Wurzelhälfte.....	39
Abbildung 5-3: Unterschiede zwischen den Gruppen in der distalen Wurzelhälfte	40
Abbildung 5-4: Einfluss der Lokalisation in der distalen Wurzelhälfte.....	41
Abbildung 5-5: Unterschiede zwischen den Gruppen für die mesiale Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	44
Abbildung 5-6: Einfluss der Lokalisation in der mesialen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	45
Abbildung 5-7: Unterschiede zwischen den Gruppen in der distalen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	46
Abbildung 5-8: Einfluss der Lokalisation in der distalen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	46

Abbildung 5-9: Unterschiede zwischen den Gruppen für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°	48
Abbildung 5-10: Einfluss der Lokalisation für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°	48
Abbildung 5-11: Unterschiede zwischen den Gruppen für Zähne mit Radii von 1,0 mm bis 7,5 mm	51
Abbildung 5-12: Einfluss der Lokalisation für Zähne mit Radii von 1,0 mm bis 7,5 mm	51
Abbildung 5-13: Einfluss der Lokalisation Apex für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm	53
Abbildung 5-14: Einfluss der Lokalisation Krümmung für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm	54
Abbildung 9-1: Beispiel eines Kontrollbildes zur Überprüfung der Wurzelkanalkrümmung und des Wurzelkanalradius	79
Abbildung 9-2: Beispiel eines Kontrollbildes nach Applikation des Kalziumhydroxids zur Überprüfung einer homogenen Verteilung im Wurzelkanal	79
Abbildung 9-3: Wechselwirkung Wurzelhälfte / Lokalisation	80
Abbildung 9-4: Wechselwirkung Wurzelhälfte / Lokalisation für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	80
Abbildung 9-5: Fehlende Wechselwirkung Wurzelhälfte/ Lokalisation für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°	80
Abbildung 9-6: Fehlende Wechselwirkung Gruppe / Lokalisation für Zähne mit dem Radiusbereich von 1,0 mm bis 7,5 mm	81
Abbildung 9-7: Wechselwirkung Gruppe / Lokalisation für Zähne mit dem Radiusbereich von 7,6 mm bis 16,0 mm	81

9.5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Effekte der untersuchten Faktoren	38
Tabelle 5-2: Effekte für die mesiale Wurzelhälfte	38
Tabelle 5-3: Effekte für die distale Wurzelhälfte	40
Tabelle 5-4: Deskriptiver Vergleich der Spülgruppen	41
Tabelle 5-5: Deskriptiver Vergleich der Lokalisationen	42
Tabelle 5-6: Effekte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	43
Tabelle 5-7: Effekte in der mesialen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	44
Tabelle 5-8: Effekte in der distalen Wurzelhälfte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 20° bis 30°	45
Tabelle 5-9: Effekte für Zähne mit Wurzelkanalkrümmungen von 30° bis 50°	47
Tabelle 5-10: Deskriptiver Vergleich der Spülgruppen in Abhängigkeit von der Wurzelkrümmung	49
Tabelle 5-11: Deskriptiver Vergleich der Lokalisationen in Abhängigkeit von der Wurzelkrümmung	49
Tabelle 5-12: Effekte für Zähne mit Radii von 1,0 mm bis 7,5 mm	50
Tabelle 5-13: Effekte für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm	52
Tabelle 5-14: Lokalisationseffekte des Apex für Zähne mit Radii von 7,6 mm bis 16,0 mm ..	52
Tabelle 5-15: Lokalisationseffekte der Krümmung für Zähne mit Radii 7,6 mm bis 16,0 mm	53
Tabelle 5-16: Deskriptiver Vergleich der Spülgruppen in Abhängigkeit von dem Wurzelradius	54
Tabelle 5-17 Deskriptiver Vergleich der Lokalisation in Abhängigkeit von dem Wurzelradius 1,0 mm bis 7,5 mm	55
Tabelle 5-18: Deskriptiver Vergleich der Lokalisation in Abhängigkeit von dem Wurzelradius 7,6 mm bis 16,0 mm	55

10 Literaturverzeichnis

Abou-Rass M, Piccinino MV (1982):

The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 54, 323–328

Abteilung Medizinische Statistik der Universitätsmedizin Göttingen (ams UMG) (2012):
Longitudinale Daten: SAS-Makros und R-Programme.

Quelle: <http://www.ams.med.uni-goettingen.de/amsneu/sasmakr-de.shtml>

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, Roy RA, Kamarudin AG (1992):

Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file.
Endod Dent Traumatol 8, 189–194

Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ (2009):

Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance.
Int Endod J 42, 391–398

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 8, 104–108

Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ (1992):

An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars.

J Endod 18, 549–552

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

Badr AE, Omar N, Badria FA (2011):

A laboratory evaluation of the antibacterial and cytotoxic effect of Liquorice when used as root canal medicament.

Int Endod J 44, 51–58

Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S (1975):

Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions.

J Endod 1, 127–135

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

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

J Endod 32, 127–129

Baumgartner J, Bakland LK, Sugita EIC:

Microbiology of endodontics and asepsis in endodontic practice. in: Endodontics; hrsg Ingle JI, Backland LK, 5.Auflage

Verlag BC Decker; Hamilton, Ontario, Kanada, 2002, 63-93

Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P (2007):

Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles.

Int Endod J 40, 504–513

Boutsioukis C, Noula G, Lambrianidis T (2008):

Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material.

J Endod 34, 1239–1242

Bowden JR, Ethunandan M, Brennan PA (2006):

Life-threatening airway obstruction secondary to hypochlorite extrusion during root canal treatment.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 101, 402–404

Braun A, Kappes D, Krause F, Jepsen S (2005):

Efficiency of a novel rinsing device for the removal of pulp tissue in vitro.

Int Endod J 38, 923 (Abstract R19)

Brito PRR, Souza LC, Machado Oliveira JC de, Alves FRF, De-Deus G, Lopes HP, Siqueira JF (2009):

Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study.

J Endod 35, 1422–1427

Brown JI, Doran JE (1975):

An in vitro evaluation of the particle flotation capability of various irrigating solutions.

J Calif Dent Assoc 3, 60–63

Brunner E, Domhof S, Langer F:

Nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments.

Verlag John Wiley&Sons, New York 2002, 187-210

Byström A, Sundqvist G (1981):

Bacteriologic evaluation of the efficacy 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, 35–40

Byström A, Claesson R, Sundqvist G (1985):

The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals.

Endod Dent Traumatol 1, 170–175

Calt S, Serper A (1999):

Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide.

J Endod 25, 431–433

Cameron JA (1988):

The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall.

J Endod 14, 554–559

Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P (2010):

Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals.

J Endod 36, 1361–1366

Cheung GS, Stock CJ (1993):

In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics.

Int Endod J 26, 334–343

Chow TW (1983):

Mechanical effectiveness of root canal irrigation.

J Endod 9, 475–479

Chye TL:

Effectiveness of the EndoActivator on smear layer and debris removal at the apical 1/3 of curved root canals: an SEM Study.

Master Thesis, National University Hospital, Singapore 2008

Coltène/Whaledent (2012):

CanalBrush

Quelle: http://www.coltene.com/download.php?file_id=4133

Cunningham WT, Joseph SW (1980):

Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 50, 569–571

Cunningham WT, Martin H, Forrest WR (1982):

Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53, 401–404

De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N (2009):

Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an In vitro study.
J Endod 35, 891–895

Del Fabbro M, Taschieri S, Testori T, Trancetti L, Weinstein RL (2007):

Surgical versus nonsurgical endodontic re-treatment for periradicular lesions.
Cochrane Database Sys Rev 18, CD005511

Dentsply Tulsa Dental Specialties (2012):

EndoActivator®

Quelle: <http://endoactivator.com/>

Desai P, van Himel (2009):

Comparative safety of various intracanal irrigation systems.
J Endod 35, 545–549

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

Dürr Dental AG (2012):

RinsEndo®.

Quelle: <http://www.duerrdental.de/de/produkte/zahnerhaltung/rinsendo/rinsendo/>

ESE (European Society of Endodontology) (2006):

Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen.
Endodontie 15, 387-401

Estrela C, Pimenta FC, Ito IY, Bammann LL (1998):

In vitro determination of direct antimicrobial effect of calcium hydroxide.
J Endod 24, 15–17

Fava LR, Saunders WP (1999):

Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications.
Int Endod J 32, 257–282

Fleiss J:

Statistical methods for rates and proportions. 2.Auflage

Verlag Wiley-Interscience, New York, 1981

Frank AL (1966):

Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation.

J Am Dent Assoc 72, 87–93

Garip Y, Sazak H, Gunday M, Hatipoglu S (2010):

Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 110, e62-6

Gersten K:

Einführung in die Strömungsmechanik.

Bertelsmann Universitätsverlag, Düsseldorf 1974

Goldberg F, Alfie D, Roitman M (2004):

Evaluation of the incidence of transportation after placement and removal of calcium hydroxide.

J Endod 30, 646–648

Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J (1976):

New method of irrigation during endodontic treatment.

J Endod 2, 257–260

Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR (2009):

Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices.

J Endod 35, 791–804

Guerisoli DMZ, Silva RS, Pécora JD (1998):

Evaluation of some physico-chemical properties of different concentrations of sodium hypochlorite solutions.

Braz Endod J 3, 21–23

Gulabivala K, Stock CJR, Lewsey JD, Ghori S, Ng Y, Spratt DA (2004):

Effectiveness of electrochemically activated water as an irrigant in an infected tooth model.

Int Endod J 37, 624–631

Gulabivala K, Patel B, Evans GE, Ng YL (2005):

Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces.

Endod Topics 10, 103–122

Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M (2005):

In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars.

J Endod 31, 166–170

Gutiérrez JH, Jofré A, Villena F (1990):

Scanning electron microscope study on the action of endodontic irrigants on bacteria invading the dentinal tubules.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 69, 491–501

Gutmann JL, Burns RC, Cohen S:

Pathways of the pulp; 4.Auflage

Verlag Mosby, St. Louis, Mo, USA 1987

Haapasalo M, Ørstavik D (1987):

In vitro infection and disinfection of dentinal tubules.

J Dent Res 66 1375–1379

Harrison AJ, Chivatxaranukul P, Parashos P, Messer HH (2010):

The effect of ultrasonically activated irrigation on reduction of *Enterococcus faecalis* in experimentally infected root canals.

Int Endod J 43, 968–977

Harrison JW, Madonia JV (1971):

The toxicity of parachlorophenol.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32, 90–99

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

Hauser V, Braun A, Frentzen M (2007):

Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo).

Int Endod J 40, 644–652

Heithersay GS (1975):

Calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth with associated pathology.

J Br Endod Soc 8, 74–93

Hellwig E; Klimek J; Attin T:

Einführung in die Zahnerhaltung. 4. Auflage

Verlag Elsevier Urban & Fischer, München 2007

Hermann BW:

Kalziumhydroxid als Mittel zum Behandeln und Füllen von Zahnwurzelkanälen.

Med. Diss., Würzburg 1920

Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE, Yaccino JM (2011):

Comparison of debris removal with three different irrigation techniques.

J Endod 37, 1301–1305

Huang T, Gulabivala K, Ng Y (2008):

A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation.

Int Endod J 41, 60–71

Huffaker SK, Safavi K, Spangberg LSW, Kaufman B (2010):

Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study.

J Endod 36, 1315–1318

Hülsmann M (2006):

Die Desinfektion des endodontischen Systems.

Endodontie 15, 147–170

Hülsmann M, Hahn W (2000):

Complications during root canal irrigation--literature review and case reports.

Int Endod J 33, 186–193

Hülsmann, M; Schäfer, E:

Probleme in der Endodontie. Prävention, Identifikation und Management:

Quintessenz Verlag, Berlin 2007

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, Rödiger T, Nordmeyer S (2007):

Complications during root canal irrigation.

Endod Topics 16, 27–63

Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK (1999):

Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals.

J Endod 25, 735–738

Jiang L, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LWM (2010):

Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal.

J Endod 36, 143–146

Kantz WE, Henry CA (1974):

Isolation and classification of anaerobic bacteria from intact pulp chambers of non-vital teeth in man.

Arch. Oral Biol 19, 91–96

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

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

J Endod 32, 563–565

Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M (2006):

Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems.

J Endod 32, 417–420

Kim SK, Kim YO (2002):

Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal.

Int Endod J 35, 623–628

Kleier DJ, Averbach RE, Mehdipour O (2008):

The sodium hypochlorite accident: experience of diplomates of the American Board of Endodontics.

J Endod 34, 1346–1350

Klinke R:

Hörempfindungen; in: Lehrbuch der Physiologie; hrsg. Klinke R, Silbernagel S; 4. Auflage Thieme, Stuttgart 2003; 579-580

Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE (2010):

In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars.

J Endod 36, 1367–1371

Koagel SO, Mines P, Apicella M, Sweet M (2008)

In vitro study to compare the coronal microleakage of Tempit UltraF, Tempit, IRM, and Cavit by using the fluid transport model

J Endod 34, 442-444

- Komabayashi T, D'souza RN, Dechow PC, Safavi KE, Spångberg LSW (2009):
Particle size and shape of calcium hydroxide.
J Endod 35, 284–287
- Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P (1999):
Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal.
J Endod 25, 85–88
- Lambrianidis T, Kosti E, Boutsoukis C, Mazinis M (2006):
Removal efficacy of various calcium hydroxide/chlorhexidine medicaments from the root canal.
Int Endod J 39, 55–61
- Law A, Messer H (2004):
An evidence-based analysis of the antibacterial effectiveness of intracanal medicaments.
J Endod 30, 689–694
- Lee S, Wu M, Wesselink PR (2004):
The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals.
Int Endod J 37, 607–612
- Lewis BB, Chestner SB (1981):
Formaldehyde in dentistry: a review of mutagenic and carcinogenic potential.
J Am Dent Assoc 103, 429–434
- Lumley PJ, Walmsley AD (1992):
Effect of precurving on the performance of endosonic K files.
J Endod 18, 232–236
- 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
- Lussi A, Nussbächer U, Grosrey J (1993):
A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system.
J Endod 19, 549–553
- Lussi A, Messerli L, Hotz P, Grosrey J (1995):
A new non-instrumental technique for cleaning and filling root canals.
Int Endod J 28, 1–6

Manogue M, Patel S, Walker RT:

The principles of endodontics.:

Oxford University Press, Oxford, New York 2005

Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Palaghias G (1997):

Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: a potential clinical problem.

J Endod 23, 43–48

Martin H, Cunningham W (1984):

Endosonic endodontics: the ultrasonic synergistic system.

Int Dent J 34, 198–203

Martin H, Cunningham W (1985):

Endosonics – The ultrasonic synergistic system of endodontics.

Dent Traumatol 1, 201–206

Masillamoni CRM, Kettering JD, Torabinejad M (1981):

The biocompatibility of some root canal medicaments and irrigants.

Int Endod J 14, 115–120

McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng Y (2008):

The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model.

Int Endod J 41, 602–608

Meryon SD, Brook AM (1990):

Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity.

Endod J 23, 196–202

Messing JJ, Ray RE:

Operative dental surgery.

Verlag Henry Kimpton, London 1972

Moorer WR, Wesselink PR (1982):

Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite.

Int Endod J 15, 187–196

Munoz HR, Camacho-Cuadra K (2012):

In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars.

J Endod 38, 445–448

Muselmani B, Kneist S, Glockmann E:

Antimicrobial effectiveness of hydrodynamic and conventional rinsing in root canal.

Amsterdam (2005): The Joint Meeting of the Continental European (CED) and Scandinavian (NOF) Divisions of the International Association of Dental Research (IADR) (Poster)

Nair PNR, Henry S, Cano V, Vera J (2005):

Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 99, 231–252

Nandini S, Velmurugan N, Kandaswamy D (2006):

Removal efficiency of calcium hydroxide intracanal medicament with two calcium chelators: volumetric analysis using spiral CT, an in vitro study.

J Endod 32, 1097–1101

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

Oguntebi BR (1994):

Dentine tubule infection and endodontic therapy implications.

Int Endod J 27, 218–222

Ohl CD, Arora M, Ikink R, Jong N de, Versluis N, Delius M (2006):

Sonoporation from jetting cavitation bubbles.

Biophys J 91, 4285–4295

Ørstavik D, Kerekes K, Molven O (1991):

Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study.

Int Endod J 24, 1–7

Oztan MD, Akman A, Dalat D (2002):

Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of two different mixtures and carriers.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94, 93–97

Paragliola R, Franco V, Fabiani C, Mazzoni A, Nato F, Tay FR, Breschi L, Grandini S (2010):

Final rinse optimization: influence of different agitation protocols.

J Endod 36, 282–285

Parirokh M, Jalali S, Haghdoost AA, Abbott PV (2012):

Comparison of the effect of various irrigants on apically extruded debris after root canal

preparation.

J Endod 38, 196–199

Pavaskar R, Ataide IN de, Chalakkal P, Pinto MJ, Fernandes KS, Keny RV, Kamath A (2012):

An In-vitro study comparing the intracanal effectiveness of calcium hydroxide- and linezolid-based medicaments against *Enterococcus faecalis*.

J Endod 38, 95–100

Peters OA, Schönenberger K, Laib A (2001):

Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography.

Int Endod J 34, 221–230

Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Somma F (2009):

Mechanical properties and dimensional characterisation of Roeko CanalBrush.

Int Endod J 42, 1159, Abstract R112

Porkaew P, Retief DH, Barfield RD, Lacefield WR, Soong SJ (1990):

Effects of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal.

J Endod 16, 369–374

Pouch D, Bohne W, Enkel B, Pilet P, Calas P, Laboux O. (2007):

Cleaning qualities of Rinsendo®: an in vitro study.

Eur Cell Mater 13, 27

Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL, JR. (1997):

Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 23, 77–85

Pschyrembel:

Klinisches Wörterbuch 2012, 263. Auflage;

Verlag de Gruyter, Berlin 2011

Ram Z (1977):

Effectiveness of root canal irrigation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 44, 306–312

Reit C, Molander A, Dahlén G (1988):

The diagnostic accuracy of microbiologic root canal sampling and the influence of antimicrobial dressings.

Endod Dent Traumatol 15, 278–283

Remy, H:

Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 11. Auflage;

Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G, Leipzig 1960

Rödig T, Hülsmann M (2006):

Literatur-Rundschau. Applikation und Entfernung der medikamentösen Einlage.

Endodontie 15, 379–385

Rödig T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M (2010a):

Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals.

Int Endod J 43, 519–527

Rödig T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M (2010b):

Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study.

J Endod 36, 1983–1987

Rödig T, Sedghi M, Konietschke F, Lange K, Ziebolz D, Hülsmann M (2010c):

Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes.

Int Endod J 43, 581–589

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

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

Int Endod J 27, 197–207

Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW (2003):

A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals.

J Endod 29, 674–678

Saif S, Carey CM, Tordik PA, McClanahan SB (2008):

Effect of irrigants and cementum injury on diffusion of hydroxyl ions through the dentinal tubules.

J Endod 34, 50–52

Salgado RJC, Moura-Netto C, Yamazaki AK, Cardoso LN, Moura AAM de, Prokopowitsch I (2009):

Comparison of different irrigants on calcium hydroxide medication removal: microscopic cleanliness evaluation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 107, 580–584

- Salman MI, Baumann MA, Hellmich M, Roggendorf MJ, Termaat S (2010):
SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation.
Int Endod J 43, 363–369
- 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
- Schäfer E:
Struktur der Pulpa und ihre Erkrankungsformen; in Praxis der Zahnheilkunde, Band 3; hrsg. Heidemann D; 4.Auflage.
Verlag Urban & Fischer, München 2001, 2-24
- Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W (2000)
Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Wurzelkanalaufbereitungen; Quelle:
http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Wurzelkanalaufbereitungen.pdf
- Schneider SW (1971):
A comparison of canal preparations in straight and curved root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32, 271–275
- Schröder U (1985):
Effects of calcium hydroxide-containing pulp-capping agents on pulp cell migration, proliferation, and differentiation.
J Dent Res 64, 541–548
- Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B (2005):
Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro.
Int Endod J 38, 97–104
- Sen BH, Piskin B, Demirci T (1995):
Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM.
Endod Dent Traumatol 11, 6–9
- Shen Y, Stojicic S, Qian W, Olsen I, Haapasalo M (2010):
The synergistic antimicrobial effect by mechanical agitation and two chlorhexidine preparations on biofilm bacteria.
J Endod 36, 100–104
- Siqueira JF, Uzeda M de (1996):
Disinfection by calcium hydroxide pastes of dentinal tubules infected with two obligate and

one facultative anaerobic bacteria.

J Endod 22, 674–676

Siqueira JF, Lopes HP (1999):

Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review.

Int Endod J 32, 361–369

Siqueira JF, Lima KC, Magalhães FA, Lopes HP, Uzeda M de (1999):

Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques.

J Endod 25, 332–335

Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M (2005):

The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy.

J Endod 31, 669–671

Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist, G (1991)

The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing

Int Endod J 24, 119-125

Soekanto A, Kasugai S, Matakai S, Ohya K, Ogura H (1996):

Toxicity of camphorated phenol and camphorated parachlorophenol in dental pulp cell culture.

J Endod 22, 284–286

Spångberg LSW (2001):

Evidence-based endodontics: The one-visit treatment idea.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 91, 617–618

Stamos DE, Sadeghi EM, Haasch GC, Gerstein H (1987):

An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation.

J Endod 13, 434–440

StatSoft® (2012):

Bonferroni Korrektur.

Quelle: <http://www.statsoft.de/glossary/B/BonferroniAdjustment.htm>

Stevens RH, Grossman L. I. (1983):

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

J Endod 9, 372–374

Su Y; Wang C; Ye L (2011)

Healing rate and post-obturation pain of single- versus multiple-visit endodontic treatment for infected root canals: a systematic review

J Endod 37, 125-132

Sundqvist G (1992):

Ecology of the root canal flora.

J Endod 18, 427–430

Taşdemir T, Çelik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli KT, Yeşilyurt C (2011):

Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals.

Int Endod J 44, 505–509

Torres CP, Apicella MJ, Yancich PP, Parker MH (2004):

Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of techniques, revisited.

J Endod 30, 225–227

Tronstad L (1988):

Root resorption - etiology, terminology and clinical manifestations.

Dent Traumatol 4, 241–252

Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I (1981):

PH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide.

J Endod 7, 17–21

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 LWM, Wu M, Wesselink PR (2005):

The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper.

Int Endod J 38, 764–768

van der Sluis LWM, 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 LWM, Wu MK, Wesselink PR (2007a):

The evaluation of removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies.

Int Endod J 40, 52–57

van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR (2007b):

Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature.

Int Endod J 40, 415–426

van der Sluis LWM, Vogels MPJM, Verhaagen B, Macedo R, Wesselink PR (2010):

Study on the influence of refreshment/activation cycles and irrigants on mechanical cleaning efficiency during ultrasonic activation of the irrigant.

J Endod 36, 737–740

Wadachi R, Araki K, Suda H (1998):

Effect of calcium hydroxide on the dissolution of soft tissue on the root canal wall.

J Endod 24, 326–330

Walmsley AD (1987):

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

Int Endod J 20, 105–111

Walmsley AD, Williams AR (1989):

Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files.

J Endod 15, 189–194

Walmsley AD, Lumley PJ, Laird WR (1989):

Oscillatory pattern of sonically powered endodontic files.

Int Endod J 22, 125–132

Walmsley AD, Murgel C, Krell KV (1991):

Canal markings produced by endosonic instruments.

Dent Traumatol 7, 84–89

Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG (2002):

Efficacy of irrigation with rotary instrumentation.

J Endod 28, 837–839

Walton RE (1976):

Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space.

J Endod 2, 304–311

Wasfy M, McMahon Kt, Minah Falkler Wa (1992):

Microbiological evaluation of periapical infections in Egypt.

Oral Microbiol Immunol 7, 100–105

Webber RT, Schwiebert KA, Cathey GM (1981):

A technique for placement of calcium hydroxide in the root canal system.

J Am Dent Assoc 103, 417–421

Weiger R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W, Schäfer E, Hickel R (2000):

Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen; Quelle:

http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Zur_Prognose_von_Wurzelkanalbehandlungen.pdf

Weine FS, Kelly RF, Lio PJ (1975):

The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape.

J Endod 1, 255–262

Weller RN, Brady JM, Bernier WE (1980):

Efficacy of ultrasonic cleaning.

J Endod 6, 740–743

Wiseman A, Cox TC, Paranjpe A, Flake NM, Cohenca N, Johnson JD (2011):

Efficacy of sonic and ultrasonic activation for removal of calcium hydroxide from mesial canals of mandibular molars: a microtomographic study.

J Endod 37, 235–238

Zehnder M (2006):

Root canal irrigants.

J Endod 32, 389–398

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

Irrigants and intracanal medicaments in endodontics.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 113, 756–763

Danksagung

Für die freundliche Überlassung des Themas, die zuverlässige und engagierte Betreuung, die immerwährende Motivation und die geduldige Korrektur der Promotionsarbeit gilt mein besonderer Dank meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann.

Für die kompetente und engagierte Hilfe bei der Aufbereitung der statistischen Daten möchte ich mich vielmals bei Simon Schneider aus der Abteilung Medizinische Statistik der Universitätsmedizin Göttingen bedanken.

Besonders danke ich weiterhin meiner Frau Carola für die immerwährende Unterstützung insbesondere bei den Korrekturen und die liebevolle Begleitung in dieser Zeit. Ebenfalls danke ich ganz herzlich Anne-Kathrin Schmidt sowie meiner Familie, die diesen Weg erst möglich gemacht haben.