

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

Vergleichende Studie zur Entfernung von Debris mit
unterschiedlichen Spültechniken.

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Meral Bozkurt
aus
Duisburg

Göttingen 2011

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

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

II. Berichterstatter/in:

III. Berichterstatter/in:

Tag der mündlichen Prüfung:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Die Wurzelkanalbehandlung	3
3. Die Schmierschicht	4
4. Desinfektion des Wurzelkanals	6
4.1 Biozide	7
4.1.1 Natriumhypochlorit	7
4.1.2 Chlorhexidin	9
4.2 Chelatoren	11
4.2.1 EDTA	11
4.2.2 Zitronensäure	12
5. Spültechniken	13
5.1 Handspülung	13
5.2 Ultraschall	14
5.3 Vibringe	15
6. Material und Methode	16
7. Ergebnisse	26
7.1 Untersucherübereinstimmung	26
7.2 Ergebnisse des Hauptversuches	26
8. Diskussion	33
8.1 Diskussion der Methode	33
8.2 Diskussion der Ergebnisse	35
9. Zusammenfassung	41
10. Literaturverzeichnis	43
11. Abbildungsnachweis	66
12. Tabellennachweis	66

1. Einleitung

In der Endodontie unterliegen die Techniken der Desinfektion und Reinigung einer ständigen Entwicklung, die sich bis zum heutigen Zeitpunkt fortsetzt. Die Desinfektion und Reinigung des Wurzelkanals stehen heute im Mittelpunkt der Wurzelkanalbehandlung, da sie die Grundlage einer erfolgreichen endodontischen Behandlung bilden. Die Desinfektion des Wurzelkanalsystems mit antibakteriell wirksamen und gewebeauflösenden Spüllösungen bildet einen wesentlichen Bestandteil der chemomechanischen Wurzelkanalaufbereitung (Hapasalo HK et al. 2000). Nach der Wurzelkanalpräparation verbleiben Pulpagewebe, Bakterien und Dentindebris in den mechanisch nicht instrumentierbaren Bereichen ovaler Wurzelkanäle (Wu & Wesselink 2001, Peters 2004). Deshalb wird zurzeit in vielen Studien untersucht, mit welcher Spültechnik oder Spüllösung diese uninstrumentierbaren Bereiche am besten zu reinigen und zu desinfizieren sind. Die manuelle Spülung mit Spritze und konventioneller Kanüle ist die am häufigsten angewendete Spültechnik. Bewährt haben sich stumpfe, möglichst dünne und flexible Spülkanülen mit dem Durchmesser 0,3-0,4 mm. Die Reinigungswirkung ist am besten, wenn die Spülkanüle bis auf Arbeitslänge minus 1 mm in den Wurzelkanal eingebracht werden kann (Sedgley et al. 2005). In der vorliegenden Studie wurde eine neu entwickelte schallgestützte Spültechnik (Vibringe[®]-System, Vibringe B.V., Amsterdam, Niederlande) mit der konventionellen Handspülung und der ultraschallaktivierten Spülung hinsichtlich der Entfernung von künstlichem Debris untersucht. Über die Effektivität des neuen Applikationssystems liegen bislang noch keine aussagekräftigen Studien vor.

Eine Verbesserung der Reinigungswirkung kann durch die Aktivierung der Spüllösung mit Schall- oder Ultraschallsystem erzielt werden (Cheung & Stock 1993, Kahn et al. 1995, Hülsmann et al. 1997, Sabins et al. 2003). Die Reduzierung der Keimzahl und die Sauberkeit der Kanalwand sind bei schall- und ultraschallaktivierten Systemen gegenüber einer rein manuellen Spültechnik verbessert (Sjögren & Sundqvist 1987, Haidet et al. 1989, Archer et al. 1992, Cheung & Stock 1993, Leighton 1994, Huque et al. 1998, Spoletti et al. 2003, Lee et al. 2004a, Gutarts et al. 2005). Während der Wurzelkanalpräparation sollen häufige und hochvolumige Spülungen durchgeführt werden, um Zelltrümmer, Pulpareste, Dentindebris und die Schmierschicht (Smear layer) zu entfernen. Ein Belassen von Debris und Smear layer kann sich negativ auf die Dichtigkeit der Wurzelka-

nalfüllung auswirken (Taylor et al. 1997, Torabinejad et al. 2002). Im Fall einer infizierten Pulpanekrose müssen darüber hinaus auch Bakterien und deren Stoffwechselprodukte eliminiert werden. Undichtigkeiten einer Wurzelkanalfüllung („leakage“) können eine bakterielle Rekolonisation des endodontischen Systems und ein Wiederaufflammen des apikalen Entzündungsprozesses herbeiführen. Aus diesem Grund wurden im apikalen und koronalen Kanaldrittel Kavitäten in die Wurzelkanalwände präpariert, die Bereiche des Wurzelkanalsystems simulieren, die der instrumentellen Bearbeitung unzugänglich sind. Die Ergebnisse über die Reinigungswirkung im apikalen und koronalen Kanalanteil sind widersprüchlich (Wu & Wesselink 1995, Huang et al. 2008). Um beide Kanalanteile bezüglich der Effektivität der Entfernbarkeit von Debris zu untersuchen, wurden eine Handspülung, eine ultraschallaktivierte sowie eine schallaktivierte Spülung eingesetzt. Die Spülwirkung der Handspülung ist in Bezug auf die Entfernung von Debris nicht ausreichend effektiv (Cunningham et al. 1982, Wu & Wesselink 2001). Viele Studien bescheinigen der ultraschallaktivierten Spülung eine effektivere Entfernung von Debris im Vergleich zur manuellen Spültechnik (Haidet et al. 1989, Cheung & Stock 1993, Lee et al. 2004a, Gutarts et al. 2005, Passarinho-Neto et al. 2006). Es liegen jedoch auch widersprüchliche Ergebnisse über die Entfernung von Debris, Schmierschicht und Bakterien bei der ultraschallaktivierten und schallaktivierten Spülung vor (Stamos et al. 1987, Jensen et al. 1999, Sabins et al. 2003).

Die Ziele der vorliegenden Studie bestanden darin, verschiedene Spültechniken für die Entfernung von künstlichem Debris aus den nicht zu bearbeitenden Ausläufern des Wurzelkanals in vitro zu untersuchen und dabei die Unterschiede in der Effektivität der Entfernbarkeit des künstlichen Debris im apikalen und koronalen Wurzelkanaldrittel zu berücksichtigen.

2. Die Wurzelkanalbehandlung

Die Endodontologie befasst sich nicht nur mit der Anatomie, Histologie und Physiologie des Endodontiums, sondern auch mit der Ätiologie, Pathologie, Prävention, Diagnostik und Therapie von Erkrankungen des Endodonts und des benachbarten periradikulären Gewebes (ESE 2006). Das Ziel der Wurzelkanalbehandlung besteht in einer Entfernung sämtlicher Mikroorganismen und deren Nebenprodukte aus dem Wurzelkanalsystem, sowie in der Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals (Löst et al. 1992, Trope & Bergenholtz 2002, Hülsmann et al. 2005). Weitere wesentliche Ziele sind die langfristige Erhaltung eines Zahnes mit irreversibel geschädigter Pulpa als voll funktionsfähige Kau-einheit, das Vermeiden der Schädigung oder Erkrankung von Nachbarstrukturen und die Heilung bereits vorhandener pathologischer Veränderungen (Hülsmann 2006). Die Wurzelkanalbehandlung sollte mit einer bakteriendichten und wandständigen Wurzelkanalfüllung abschließen. Um eine dauerhafte Wurzelkanalfüllung gewährleisten zu können, sollte ein bakteriendichter Verschluss der endodontischen Zugangskavität erfolgen, da Undichtigkeiten der Restauration zu einem koronalen „Leakage“ und somit zur Reinfektion führen (Saunders & Saunders 1994, Carrotte 2004, Hülsmann et al. 2005). Die post-endodontische Restauration stellt einen wichtigen Baustein der Therapie dar und trägt wesentlich zum langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung und somit auch zum langfristigen Erhalt der Funktion eines avitalen Zahnes bei (Ng et al. 2008). Wesentliche Ziele der mechanischen Wurzelkanalpräparation sind eine Entfernung vitalen und nekrotischen Gewebes, eine Reduzierung der Mikroorganismen und die Präparation einer Wurzelkanalform, die eine ausreichende wandständige Obturation erlaubt (Hülsmann 2001, 2002). Jedoch ist eine vollständige Eliminierung der Mikroorganismen nicht möglich, da diese bei einer infizierten Pulpanekrose bis zu 200 Mikrometer tief (Schäfer 2001) in die Dentintubuli eindringen können. Pörtzel und Petschelt (1986) konnten sogar Mikroorganismen bis zu einer Tiefe von 1-2 mm im Wurzelkanalentin nachweisen, d. h. bis in die Nähe des Wurzelzements. Eine rein mechanische Präparation kann die Keimzahl im Kanalsystem um den Faktor 100-1000 reduzieren (Byström & Sundqvist 1981, Baugh & Wallace 2005, Haapasalo M et al. 2005), aber keine Keimfreiheit oder ausreichende Keimarmut herbeiführen. Das Gesamtkonzept besteht daher aus Präparation, desinfizierender Spülung und me-

dikamentöser Einlage, um die Anzahl der Bakterien zu reduzieren (Hülsmann et al. 2005, Hülsmann 2006). Die Wurzelkanalspülung bildet einen wesentlichen Bestandteil der chemomechanischen Wurzelkanalbehandlung. Dabei spielen die richtige Auswahl des Spülmediums und die entsprechende Spültechnik eine große Rolle, um eine größere Keimarmut zu erreichen (Hülsmann 2001, 2006). Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Präparationsgröße die mechanische Effektivität der Spülung signifikant beeinflusst (Falk und Sedgley 2005). Eine weitere Apikalpräparation reduziert die Zahl der verbliebenen Mikroorganismen, wobei kein Unterschied zwischen manuellen und maschinellen Präparationstechniken besteht (Dalton et al. 1998, Hülsmann et al. 2005). Die Instrumentation bis zur Instrumentengröße 50 ist signifikant effektiver in der Reinigung infizierter Wurzelkanäle als die Präparation bis zu einer apikalen Größe von 25 (Rollinson et al. 2002).

3. Die Schmierschicht

Bei der mechanischen Präparation entsteht immer eine Schmierschicht („Smear layer“) (McComb & Smith 1975). Aufgrund der direkten Einwirkung der Instrumente entsteht dabei die Schmierschicht auf der Oberfläche des Wurzelkanalwanddentins (McComb & Smith 1975, Goldman et al. 1981, Mader et al. 1984, Petschelt & Oberschachtsiek 1985, Koçkapan 1986). Diese Schicht ist ein bis zwei Mikrometer dick und besteht aus Dentinspänen, Pulparesten, denaturiertem Kollagen, Odontoblastenfortsätzen und bei infizierter Pulpa sogar aus Bakterien (Gwinnett 1984, Peters & Barbakow 2000). Die Schmierschicht setzt sich aus anorganischen und organischen Anteilen und aus einer nicht genau definierten Matrix zusammen (Koçkapan 1987). Sie wird in zwei Typen unterteilt, zum einen in die die Kanalwand bedeckende, oberflächliche Schmierschicht und zum anderen die in die Dentintubuli hineingepresste Schmierschicht (Koçkapan 1987). Es können Teile der Schmierschicht bis zu 40 Mikrometer in die Dentinkanäle eindringen (Mader et al. 1984). Durch die verstopften Dentintubuli kommt es zu einer Behinderung der Einwirkung von Spüllösungen und medikamentösen Einlagefüllungen (Byström & Sundqvist 1985, Foster et al. 1993). Des Weiteren verhindert die Schmierschicht eine dichte Verbindung des Sealers mit der Wurzelkanalwand (Taylor et al. 1997, Torabinejad et al. 2002). Dadurch besteht die Gefahr eines „mikroleakages“, wodurch dann eine Rein-

fektion und Reinfektion des periapikalen Gewebes entstehen kann (Shipper et al. 2005). Aus diesem Grund wird in den meisten Untersuchungen eine Entfernung der Schmierschicht empfohlen (Violich & Chandler 2010). Für die Entfernung der organischen und anorganischen Anteile werden verschiedene Lösungsmittel benötigt (Scelza et al. 2003). Zur Auflösung der anorganischen Anteile werden Chelatoren wie EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure) oder Zitronensäure bevorzugt und zur Auflösung der organischen Anteile wird Natriumhypochlorit verwendet (Brandt et al. 2001). Nur nach der Entfernung der Schmierschicht kann es zu einer verbesserten Penetration und Wirkung von desinfizierenden Spülflüssigkeiten und Medikamenten kommen. Außerdem gelingt eine bessere Adaptation des Wurzelkanalfüllmaterials an das Kanalwanddentin (Torabinejad et al. 2002). Jedoch ist es umstritten, ob die Entfernung der Schmierschicht notwendig ist (Violich & Chandler 2010). Dazu bestehen unterschiedliche Meinungen, denn einige Untersucher vertreten die Ansicht, dass die Schmierschicht keinen Einfluss auf den dichten Abschluss der Wurzelkanalfüllung ausübt. Es wird angenommen, dass sich in den offenen Dentinkanälchen Bakterien vermehren und leichter an die Wurzelaußenseite gelangen können (Drake et al. 1994, Galvan et al. 1994, Love 1996, Shemesh et al. 2006, Saleh et al. 2008). Studien belegen aber auch, dass die Wandständigkeit und Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung durch die Entfernung der Schmierschicht verbessert werden (Cergneux et al. 1987). Weiterhin wird durch die Verblockung der Dentintubuli das Eindringen antibakteriell wirksamer Substanzen in das Wanddentin verhindert (Petschelt & Oberschachtsiek 1985, Koçkapan 1987). Die in der Schmierschicht eingeschlossenen Bakterien sind überlebens- und vermehrungsfähig (Brännström & Nyborg 1973, Baker et al. 1975, Yamada et al. 1983). In einer Metaanalyse (Shahravan et al. 2007) wurde festgestellt, dass die Entfernung der Schmierschicht das Abdichtungsvermögen der Wurzelkanalfüllung verbessert. Die Entfernung der Schmierschicht wird auch seitens der DGZMK in der Stellungnahme zur Wurzelkanalspülung empfohlen (Barthel et al. 2006).

4. Desinfektion des Wurzelkanals

Ein wesentlicher Bestandteil der chemomechanischen Wurzelkanalaufbereitung ist die Spülung des Wurzelkanals mit antibakteriell wirksamen und gewebeauflösenden Lösungen (chemisches Debridement). Die Präparation kann die Keimzahl im Kanalsystem um den Faktor 100-1000 reduzieren, aber keine Keimfreiheit oder ausreichende Keimarmut herbeiführen. Aus diesem Grund ist zusätzlich zur mechanischen Präparation der Einsatz chemischer Spüllösungen notwendig (Peters 2004, Haapasalo M et al. 2005, Hülsmann et al. 2005, Hülsmann 2006). Die mechanische Instrumentierung ohne gründliche Spülung ist nicht in der Lage, zuverlässige Bakterienfreiheit im Wurzelkanal zu erzielen (Byström & Sundqvist 1981, Baugh & Wallace 2005, Haapasalo M et al. 2005). Eine weite Apikalpräparation erleichtert eine effektive Desinfektion (Ørstavik et al. 1991). Die Kombination aus mechanischer Instrumentation und chemischer Desinfektion kann mehr als 90% der Bakterien aus dem Wurzelkanalsystem eliminieren (Siqueira et al. 1999).

Die Ziele der Wurzelkanalspülung sind (Hülsmann 2006):

- Antibakterielle Wirkung und Desinfektion des Endodonts
- Abtransport der Dentinspäne, um eine Blockade des Wurzelkanals zu verhindern
- Gleitmittel für die Wurzelkanalinstrumente
- Zerstörung des Biofilms und Entfernung der Schmierschicht
- Auflösung organischen und anorganischen Kanalinhalt, auch in den Bereichen des komplexen endodontischen Systems, die der instrumentellen Bearbeitung nicht zugänglich sind
- Neutralisierung der Bakterientoxine (Lipopolysaccharide)
- Bleichwirkung auf die koronale und radikuläre Zahnhartsubstanzen
- Keine Veränderung der Dentineigenschaften
- Gute Gewebeverträglichkeit.

Für die Desinfektion sollte eine Substanz verwendet werden, die bei möglichst großer antibakterieller Wirkung gleichzeitig möglichst geringe zytotoxische Eigenschaften besitzt. Viele antimikrobiell wirksame Desinfektionslösungen besitzen auch gewebeschädigendes Potenzial (Spångberg 1982, Dammaschke 1999, Zehnder 2006). Aus diesem Grund darf die Spülnadel apikal nicht im

Wurzelkanal verklemmt werden, um einen Abfluss der Spülflüssigkeit nach koronal zu gewährleisten und eine Injektion in das periapikale Gewebe zu vermeiden (Ram 1977, Hülsmann 1993). Wenn aufgrund der Kanalanatomie ein Verschieben der Spülnadel in die apikale Region nicht möglich ist, kann durch den Einsatz eines Ultraschallsystems die Reinigungswirkung der Spülflüssigkeiten erhöht werden (Cunningham & Martin 1982, Petschelt et al. 1987, Druttman & Stock 1989, Hülsmann 1993). Außer Natriumhypochlorit (NaOCl) stehen mit Chlorhexidin, EDTA und Zitronensäure weitere Spülflüssigkeiten zur Verfügung, die bei korrekter und vorsichtiger Anwendung das Behandlungsergebnis verbessern können.

4.1 Biozide

4.1.1 Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit gilt in der endodontischen Literatur als Standardmedium zur Wurzelkanal-Desinfektion. Es dissoziiert in wässriger Lösung zu Hypochloritionen (OCl^-) und hypochloriger Säure (HOCl) (Zehnder et al. 2003), welche starke Oxidationsmittel darstellen (Dammaschke 1999, Zehnder 2006). Natriumhypochlorit weist einen pH-Wert zwischen 10,7 und 12,2 auf. Die Wirkung der Spüllösung beruht auf der Zerstörung der Bakterienhülle und der Chlorierung funktioneller Gruppen (Dammaschke 1999). Es hat sich als effektive Substanz zur Auflösung vitalen und avitalen Gewebes erwiesen und besitzt eine sehr gute antibakterielle Wirkung auf die Mehrheit der endodontisch relevanten Mikroorganismen. Die antibakterielle Wirkung bezieht sich auch auf nekrotisches Gewebe und bakterielle Biofilme. Empfohlen wird hauptsächlich die Verwendung von Natriumhypochlorit in 1-3%iger Konzentration (Hülsmann 2006, Zehnder 2006). Bei einer 0,5%igen Konzentration wird Natriumhypochlorit bei Kontakt zu vitalem Gewebe durch das zirkulierende Blut fortgeschwemmt, ohne toxisch auf das vitale Gewebe zu wirken (Hülsmann 2006). In hohen Konzentrationen wie 5,25% kann auch vitales Gewebe aufgelöst werden (Dammaschke 1999, Zehnder et al. 2002). Natriumhypochlorit löst die organischen Bestandteile der Schmierschicht auf, kann sie aber nicht vollständig entfernen (Ari & Erdemir 2005, Zehnder et al. 2005). Es liegen einige Untersuchungen vor, die eine Veränderung der Dentineigenschaften durch die verwendeten

Spüllösungen, wie z. B. Natriumhypochlorit, Chlorhexidin, EDTA und Wasserstoffperoxid, nachweisen. Betroffen ist neben Veränderungen von Dentinhärte und Biegefestigkeit vor allem das Adhäsionsverhalten von Restaurationsmaterialien wie z. B. von Kompositen. Diese Wechselwirkungen sind aber nur unzureichend untersucht (Marending & Zehnder 2007). Bei hohen Konzentrationen kann es bei Kontakt mit dem periapikalen Gewebe zu starken Schmerzen, periapikaler Gewebenekrose und Nervschädigung kommen (Damaschke 1999, Spencer et al. 2007). Bei Kontakt mit der Haut und Schleimhaut können Kolliquationsnekrosen, bei Kontakt mit dem Auge Irritationen der Cornea entstehen (Spencer et al. 2007). Das Entscheidende für die Wirkung von Natriumhypochlorit ist die Menge der verwendeten Spüllösung und somit nicht die Konzentration (Zehnder et al. 2003, Hülsmann 2006), da die Wirkung von Natriumhypochlorit im Wesentlichen von der Anzahl freier Chloridionen abhängig ist. Von entscheidender Bedeutung ist die Einwirkzeit der Desinfektionslösung. Um den Biofilm an der Wurzelkanalwand aufzulösen, ist eine Einwirkzeit von 30-60 min notwendig (Spratt et al. 2001). Es reicht eine 0,5%ige bis 1%ige NaOCl-Lösung aus, um den Wurzelkanal zu reinigen und um eine möglichst geringe toxische Wirkung beim Kontakt mit dem periapikalem Gewebe zu erzeugen (Zehnder et al. 2003, Hülsmann 2006). Bei Erwärmung von Natriumhypochlorit (2,6%ige bis 5,25%ige Lösung) auf 60° C nimmt die gewebeauflösende Wirkung zu. Die Erwärmung einer 2,6%igen Lösung auf 37° C resultiert in einer besseren Kollagenauflösung und einer schnelleren Keimreduktion (Sirtes et al. 2005). Eine leichte Erwärmung erhöht zwar die antimikrobielle Wirksamkeit, welche jedoch auf wenige Stunden begrenzt ist. Somit verringert sich die Stabilität der Lösung und diese wird unwirksam (Cunningham & Joseph 1980). Bei einer ultraschallaktivierten Spülung findet eine Erwärmung der Spüllösung statt (van der Sluis et al. 2007). Natriumhypochlorit entfaltet eine erhöhte Wirkung bei Verwendung einer niedrigkonzentrierten Lösung und behält somit seine gute antimikrobielle Wirksamkeit bei geringer Toxizität. Natriumhypochlorit wird unwirksam, wenn es mit EDTA oder Zitronensäure verwendet wird (Grawehr et al. 2003, Zehnder et al. 2005). Umgekehrt aber hat Natriumhypochlorit keinen Einfluss auf die Wirkung von EDTA (Grawehr et al. 2003), eine Wechselspülung ist daher nicht sinnvoll (Hülsmann et al. 2003). Zu beachten ist, dass NaOCl unter den im Wurzelkanalsystem vorherrschenden Bedingungen durch Serumproteine und Dentindebris relativ schnell inaktiviert wird (Haapasalo HK et al. 2000, Portenier et al. 2001, 2002). Natriumhypochlorit deckt auch unter In-

vivo-Bedingungen nicht das gesamte endodontisch relevante Keimspektrum ab. Das freie Chlorid wird bei Kontakt mit organischem Material schnell gebunden und die antimikrobielle Wirkung wird reduziert, deshalb ist eine häufigere Erneuerung der Spüllösung ratsam.

4.1.2 Chlorhexidin

Chlorhexidin (CHX) weist eine antibakterielle Wirkung gegen ein breites Spektrum von Mikroorganismen und eine hohe Substantivität bei niedriger Toxizität auf (Ringens et al. 1982, Jeansonne & White 1994, White et al. 1997). Es ist positiv geladen und bindet an negativ geladene Gewebestrukturen, wie z. B. Hydroxylapatit (Rølla et al. 1970). Die nun gebundenen Moleküle können über einen längeren Zeitraum in kleinen Mengen abgegeben werden (Basrani et al. 2002, Safavi & Spångberg 2006), wodurch eine über den Zeitraum der direkten Anwendung hinausgehende antibakterielle Wirkung entsteht (Davies et al. 1973). Dieser Effekt wird als „Substantivität“ bezeichnet. Deshalb ist das nicht-phenolische Biozid Chlorhexidindigluconat (CHX) in der zahnärztlichen Praxis weit verbreitet. Die Konzentration zur Plaquekontrolle sollte 0,1-0,2% (Safavi & Spångberg 2006) und zur Anwendung in der Endodontie 2% betragen (Zamany et al. 2003). CHX besitzt keine Gewebe auflösende Wirkung und ist auch gegen gram-negative Bakterien, die häufig bei primären endodontischen Infektionen zu finden sind, weniger wirksam (Naenni et al. 2004). Ein weiterer Nachteil des Chlorhexidins besteht darin, dass es keine bakteriellen Lipopolysaccharide inhibiert (Naenni et al. 2004). Daher gilt es nicht als Standardmedium zur Wurzelkanal desinfektion. Ein wesentlicher Vorteil des Chlorhexidins ist, dass es eine sehr gute Biokompatibilität aufweist und in 2%iger Konzentration als toxikologisch unbedenklich einzustufen ist. Das CHX-Molekül ist stark basisch, positiv geladen, hydrophob und lipophil und kann aufgrund dieser Eigenschaften die Bakterienzellmembran überwinden (Dynes et al. 2006). Das positiv geladene Molekül interagiert mit negativ geladenen Phospholipiden der ionisierten bakteriellen Zellmembran und beschädigt diese. Somit kommt es zu einer Steigerung der Permeabilität der Zellmembran (Hugo & Longworth 1966). Chlorhexidin führt in geringen Konzentrationen nur zu einer Bakteriostase und in höhe-

ren Konzentrationen kommt es durch Präzipitation und Koagulation des bakteriellen Zytoplasmas zu einem zytotoxischen Effekt (Hugo & Longworth 1966, Gomes et al. 2003). CHX wirkt auch auf *Enterococcus faecalis* und Pilze, die sich häufig bei endodontischen Misserfolgen finden, sowie in Wurzelkanälen, die lange dem Mundhöhlenmilieu ausgesetzt waren. Diese Keime und Pilze sind bei alleiniger Anwendung von NaOCl und Ca(OH)₂ teilweise resistent. Daher werden sie vor allem zur zusätzlichen Desinfektion in Revisionsfällen empfohlen (Waltimo 2006). Nach Spülung mit 2%iger Chlorhexidinlösung konnte ein antimikrobieller Effekt über 72 Stunden festgestellt werden. Jedoch besteht während der kurzen Spülzeit kein ausreichend langer Kontakt mit dem Dentin, um die Sättigung mit Chlorhexidinmolekülen zu erreichen (Lin et al. 2003). Im Gegensatz zur medikamentösen Einlage über mehrere Tage ist bei der reinen Spülung die antimikrobielle Wirkung weniger ausgeprägt und es wird eine geringere Eindringtiefe in die Dentintubuli erreicht (Lin et al. 2003). Sowohl bei CHX als auch bei NaOCl wird die antibakterielle Wirkung durch Serumproteine und Dentinspäne reduziert (Haapasalo et al. 2000, Portenier et al. 2001). Bei kombinierter Anwendung von CHX und NaOCl zur Wurzelkanalspülung kommt es zur Ausfällung eines orangebräunlichen Präzipitats (Parachloroanilin) auf der Dentinoberfläche. Parachloroanilin ist ein bei der Reaktion von NaOCl und CHX entstehendes Zerfallsprodukt, wirkt toxisch und kann Methämoglobin bilden (Chhabra et al. 1990, Chhabra et al. 1991). Um beide Spüllösungen anwenden zu können, ist eine Zwischenspülung mit Alkohol oder EDTA zu empfehlen, wodurch eine Bildung von Parachloroanilin vermieden werden kann (Basrani et al. 2007). Eine Zwischenspülung mit Kochsalz oder destilliertem Wasser konnte die Ausbildung des Präzipitats nur reduzieren (Krishnamurthy & Sudhakaran 2010).

4.2 Chelatoren

4.2.1 EDTA

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) ist der bekannteste Chelator, der 1957 von Nygaard-Østby in die Endodontie eingeführt wurde. Er stellt den am weitesten verbreiteten Chelator dar (Çalt & Serper 2002). Bei Chelatoren handelt es sich um Komplexbildner, die in der Lage sind, selektiv Kalziumionen des Dentins an sich zu binden. Das Wurzelentin soll somit „chemisch erweicht“, das Erschließen enger und kalzifizierter Kanäle erleichtert werden (Hülsmann et al. 2003). EDTA wird als Spüllösung oder Paste verwendet und dient hauptsächlich zur Entfernung der anorganischen Bestandteile der Schmierschicht (Hülsmann et al. 2003). EDTA erweicht nicht nur das Wurzelkanalwandentin, sondern besitzt auch eine antibakterielle Wirkung auf alpha-hämolyisierende Streptokokken und *Staphylococcus aureus* und weist eine geringe irritierende Wirkung auf das apikale Gewebe auf (Patterson 1963). Die dekalzifizierende Wirkung von EDTA ist von seiner Konzentration und Einwirkdauer abhängig (Hülsmann & Heckendorff 2002). In der Endodontie werden im Allgemeinen 15%ige Lösungen mit einem pH-Wert von 7,3 verwendet. Der pH-Wert hat jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit des EDTA (Hülsmann et al. 2003). Die demineralisierende Wirkung von EDTA ist begrenzt, da das verhältnismäßig große Molekül des Komplexbildners nur ein Ca^{2+} -Ion zu binden vermag. Die Reaktion endet, wenn alle Chelator-Moleküle mit Kalzium besetzt sind (Wandelt 1961). Die Lösung wird deshalb schnell unwirksam und muss häufig gewechselt werden (Weinreb & Meier 1965). Einige Studien zeigen, dass ein höherer Reinigungs- und Erosionseffekt im koronalen und mittleren Kanaldrittel zu finden ist. Hier ist der Wurzelkanal weiter als im apikalen Drittel, wodurch mehr Spüllösung mit der Kanalwand in Kontakt tritt (Scelza et al. 2000, Hülsmann & Heckendorff 2002, Torabinejad et al. 2003a). Nach zehnminütiger Anwendung von EDTA konnten vor allem im koronalen und mittleren Kanaldrittel starke Erosionen des Dentins beobachtet werden (Çalt & Serper 2002). Sogar nach einer Minute zeigte sich ein destruktiver Effekt von EDTA auf das Dentin (Torabinejad et al. 2003b). Sen et al. (2009) empfahlen eine Einwirkdauer von einer Minute. Wenn EDTA in Kombination mit NaOCl eingesetzt wird, wird die Erosion zusätzlich verstärkt, da die durch EDTA freigelegten organischen Anteile des Dentins durch NaOCl aufgelöst werden (Baumgartner & Mader 1987, Niu et al. 2002,

Torabinejad et al. 2003). Eine Wechselfpülung ist aber nicht sinnvoll, da EDTA NaOCl inaktiviert, umgekehrt inaktiviert aber NaOCl das EDTA nicht. EDTA behält trotz Mischung mit NaOCl die Fähigkeit zur Kalziumionenbindung als auch die antimikrobiellen Eigenschaften. Im Gegensatz dazu verliert NaOCl bei Mischung mit EDTA die gewebeauflösende Wirkung und frei verfügbares Chlor ist kaum nachweisbar. Deshalb ist eine separate Anwendung von EDTA und NaOCl zu empfehlen (Grawehr et al. 2003).

4.2.2 Zitronensäure

Bei der Zitronensäure ($C_6H_8O_7$) handelt es sich um eine organische Säure, die mit mehrwertigen Metallionen Komplexe bildet. Im Wurzelkanal löst sie den organischen Anteil der Schmierschicht auf (Baumgartner et al. 1984). Die dekalzifizierende Wirkung von Zitronensäure ist von der Konzentration unabhängig (Hennequin et al. 1994), jedoch von dem pH-Wert abhängig. Auch González-López et al. (2006) konnten bezüglich der Entfernung von Kalziumionen keinen Unterschied zwischen 10%iger und 20%iger Zitronensäure erkennen. Der stärkste demineralisierende Effekt zeigte sich aber bei einem pH-Wert zwischen 1,1-1,9 (Haznedaroglu 2003). Andererseits wurde festgestellt, dass keine Abhängigkeit der Effektivität vom pH-Wert besteht, da bei verschiedenen pH-Werten (pH 1,2 und 1,5) ähnliche Mengen Ca^{2+} frei wurden (González-López et al. 2006). Wie bei EDTA spielt auch hier die Kontaktfläche mit der Wurzelkanalwand eine Rolle für die Effektivität. Auch für Zitronensäure liegen keine eindeutigen Daten für eine optimale Einwirkdauer vor. Studien zeigten, dass der größte Teil an Ca^{2+} in den ersten drei bis fünf Minuten in Lösung ging (Machado-Silveiro et al. 2004, Scelza et al. 2004, González-López et al. 2006). Einige Autoren waren der Meinung, dass Zitronensäure die Schmierschicht besser entfernt als EDTA (Machado-Silveiro et al. 2004, Zehnder et al. 2005, De-Deus et al. 2008) und zudem eine höhere Komplexbildungskonstante mit Ca^{2+} als EDTA aufweist (Scelza et al. 2003). Nach Anwendung von 17% EDTA bleibt intertubuläres Dentin mit rauer Oberfläche zurück, aber nach Behandlung mit Zitronensäure lassen sich diese Bereiche glatt darstellen (Marshall et al. 1995). Im Gegensatz dazu setzten Eldeniz et al. (2005) Dentinproben für 150 s 19%iger Zitronensäure oder 17%igem EDTA aus und zeigten, dass eine erhöhte Erosion und Oberflächenrauigkeit des Dentins nach Verwendung von Zitronensäure

stattfindet. Allerdings muss EDTA doppelt so lange (300 s) wirken, um die gleiche Wirksamkeit wie Zitronensäure zu erreichen (De-Deus et al. 2008). Aufgrund seines niedrigen pH-Wertes ist Zitronensäure in der Lage, Proteine und Enzyme zu denaturieren, was einen pH-Wert-abhängigen antimikrobiellen Effekt zur Folge hat (Yamagushi et al. 1996). Zitronensäure ist gegen *C. albicans* und *E. faecalis* wirkungslos und kann Natriumhypochlorit als Spüllösung nicht ersetzen (Smith & Wayman 1986, Georgopoulou et al. 1994). Die DGZMK empfiehlt die Anwendung von Zitronensäure zur Auflösung der Schmierschicht, macht aber auch auf die Gefahr der Auflösung intertubulären Dentins bei hohen Konzentrationen (30%) aufmerksam (Barthel et al. 2006).

5. Spültechniken

5.1 Handspülung

Es ist nicht möglich, eine optimale Reinigung der Wurzelkanalwand rein mechanisch durch instrumentelle Bearbeitung zu erreichen. Dies gilt sowohl für die maschinelle als auch für die Handinstrumentation. Die mechanische Erweiterung des Wurzelkanals muss daher immer durch eine sorgfältige, hochvolumige desinfizierende Spüllösung ergänzt werden. Die Spülung sollte umso häufiger und intensiver durchgeführt werden, je stärker der Wurzelkanal vermutlich kontaminiert ist. Die Wurzelkanäle werden bei der Handspülung mit Einzelspritzen aus Kunststoff (5 ml) und einer Kanüle gespült. Es ist besser, die Kanülen ca. 45° abzubiegen, weil sie sich dadurch leichter in die Wurzelkanäle einführen lassen. Die Kanüle muss an der Spitze fest montiert sein, da sie sich sonst durch den Druck der Spüllösung lösen kann. Es sollten eine konventionelle Spritze mit möglichst dünner Injektionsnadel (Außendurchmesser 0,4 mm) oder Spezialkanülen mit kleineren Querschnitten (Außendurchmesser 0,3 mm) verwendet werden. Da die Wirkung der Spülung nur ungefähr 1 bis 2 Millimeter über die Nadelspitze hinausreicht (Boutsioukis et al. 2009, 2010), ist die Eindringtiefe der Spülnadel in den Wurzelkanal von entscheidender Bedeutung (Abou-Rass & Piccinino 1982, Chow 1982). Eine effektive Wirkung auf die apikale Kanalregion ist erst zu erwarten, wenn der Kanal bis zur ISO-Größe 35-40 präpariert ist und die Spülnadel bis auf eine Tiefe von 1-2 mm vor die Arbeitslänge eingebracht werden kann. Somit ist auch ein ausreichender Abfluss der

Spüllösung gewährleistet und ermöglicht eine suffiziente Spülung (Ram 1977). Eine Kontrolle der Eindringtiefe ist über einen auf die Nadel geschobenen und auf Arbeitslänge justierten Gummistopper möglich. Die Spülkanüle wird in den Wurzelkanal eingeführt, bis sie klemmt, dann wird sie ca. 1-2 mm zurückgezogen. Es sollte ohne Druck und langsam gespült werden, weil eine effektive Spülung der Wurzelkanäle durch Drucksteigerung während der Spülung nicht erreicht werden kann. Sie steigert die Gefahr, dass das Spülmittel in das periapikale Gewebe hinausgedrückt wird (van der Visse & Brillant 1975).

5.2 Ultraschall

Der Einsatz von Ultraschall in der Endodontie begann Ende der 50er Jahre. In den 70er und 80er Jahren wurde er von Martin und Cunningham popularisiert („ultrasonic synergistic system“). Endodontische Ultraschallgeräte werden durch Magnetostriktion oder mit Hilfe piezoelektrischer Effekte in hochfrequente Schwingungen versetzt. Die Frequenz der erzeugten Schwingung liegt zwischen 25 und 40 kHz (Stock 1991). Der Hauptteil der Schwingungsenergie wird in Längsrichtung der eingespannten Feile frei und arbeitet in seitlicher Richtung weniger effektiv. Die größte Amplitude tritt an der Feilenspitze auf. Es entstehen akustische Strömungsphänomene („Acoustic streaming“), d. h. Flüssigkeitspartikel werden um eine schwingende Feile herum in schnelle Bewegungen versetzt. Die Bewegungsrichtung orientiert sich an den Schwingungsknoten und -tälern der Feile und verläuft hauptsächlich vom apikalen Feilende her nach koronal (Ahmad et al. 1987). Die Wirkung und Effektivität der Wurzelkanaldesinfektion kann durch Ultraschallsysteme gesteigert werden (van der Sluis et al. 2006). Durch die hochfrequent schwingenden Feilen wird das Spülmittel sehr effektiv bis in die apikale Region des Wurzelkanals transportiert und kann so bereits im Anfangsstadium der Präparation bei noch sehr geringem Kanaldurchmesser seine Wirkung entfalten (Hülsmann 2006). Außerdem kommt es zu einem besseren und schnelleren Flüssigkeitsaustausch im Kanal und einer Erwärmung der Spülflüssigkeit. Die gewebeauflösende Wirkung von Natriumhypochlorit wird durch den Ultraschall deutlich erhöht (Cunningham & Balekjian 1980, Moorer & Wesselink 1982, Koçkapan 1986). Da der Ultraschall eine bessere Umwälzung und eine Erwärmung der Spülflüssigkeit bewirkt, soll er auch für die erhöhte antibakterielle Wirkung von NaOCl verant-

wortlich sein (Cunningham & Balekjian 1980, Ahmad 1990). Beim direkten Vergleich schneidet NaOCl bei der Ultraschallspülung besser ab als Wasser, es entfernt die Schmierschicht, Bakterien und Dentindebris effektiver (Cameron 1987, Cheung & Stock 1993, Huque et al. 1998, van der Sluis et al. 2006). Debris, Auflagerungen und Teile des Schmierfilms werden zum Teil sogar in nicht instrumentierten Wurzelkanalwänden entfernt (Hülsmann 2006). Studien belegten, dass eine signifikante Überlegenheit von Ultraschall in der Reinigung des Wurzelkanals (Entfernung des Pulpagewebes, des Dentindebris und planktonischer Bakterien) gegenüber der Handspülung vorliegt (Sjögren & Sundqvist 1987, Haidet et al. 1989, Archer et al. 1992, Cheung & Stock 1993, Leighton 1994, Huque et al. 1998, Spoleti et al. 2003, Lee et al. 2004a, Gutarts et al. 2005). Die Ultraschallfeile sollte während des Spülvorgangs möglichst keinen Wandkontakt aufweisen, weil sonst die Feilenschwingungen abgedämpft werden und die Effektivität der Spülung vermindert wird. Die Spitze der Ultraschallfeile muss frei in der Spülflüssigkeit schwingen, da ansonsten eine Stufenbildung im Kanaldentin resultieren kann (van der Sluis 2006). Es soll nur niedrig konzentrierte NaOCl-Lösung (1%) zur Spülung eingesetzt werden, um eine Korrosion des Handstücks und eine Blockade der Schlauchsysteme mit auskristallisiertem Kochsalz zu vermeiden.

5.3 Vibringe®-System (Vibringe B.V., Amsterdam, Niederlande)

Das Vibringe®-System ist ein Spülgerät, das eine manuelle Zufuhr der Spüllösung mit der patentierten, per Mikroprozessor gesteuerten Schalltechnologie kombiniert, die man als Schallwellentechnologie bezeichnet. Dieses Gerät wurde 2009 in Amsterdam, Niederlande, entwickelt. Das Vibringe®-System ermöglicht eine Zufuhr und Aktivierung der Spüllösung in einem Schritt. Die Fließgeschwindigkeit beträgt bei dieser Spülung ca. 5 ml/min. Es verfügt über eine schnurlose spezielle 10 ml Luer-Lock-Spritze, die mit beliebigen Spülnadeln kombiniert werden kann. Über die Effektivität dieses Systems liegen bisher keine Daten in der Literatur vor. Der Hersteller gibt an, dass die Schallaktivierung zu Verwirbelungen der Spülflüssigkeit im Wurzelkanal führt, wodurch eine gründliche Beseitigung von Geweberesten, der Schmierschicht und Debris gewährleistet wird.

6. Material und Methode

Für die Versuche wurden 16 menschliche, einwurzelige seitliche obere Schneidezähne mit gerader Wurzel ausgewählt. Hierbei wurden ausschließlich Zähne ohne Karies, Risse sowie Frakturen verwendet. Weiterhin musste das Wurzelwachstum abgeschlossen, der Apex intakt und keine vorherige Wurzelkanalbehandlung vorliegen. Die Zähne wurden nach der Extraktion in Wasser aufbewahrt. Nach Präparation einer koronalen Zugangskavität wurde mit einem Reamer der ISO-Größe 10 (VDW, München) die Gängigkeit der Kanäle überprüft. Durch Abtrennen der Zahnkrone erfolgte eine Standardisierung der Wurzellänge auf 17 mm, wobei die Arbeitslänge 16 mm betrug. Alle Zähne wurden mit FlexMaster-Nickel-Titan-Instrumenten (VDW) in einer standardisierten Crown-down-Sequenz bis zur Größe 02/35 erweitert. Bei der Instrumentierung wurden die FlexMaster-Instrumente in der Reihenfolge .06/30, .06/25, .06/20, .04/30, .04/25, .04/20, .02/20, .02/25, .02/30 und .02/35 eingesetzt. Bei der ersten Instrumentierung mit .06/30 wurden die Kanäle 6 mm tief präpariert (Arbeitslänge minus 10 mm), mit jedem weiteren Instrument wurden die Kanäle jeweils 2 mm tiefer präpariert, bis die endgültige Arbeitslänge von 16 mm erreicht wurde (Tab. 1). Nach jeder Instrumentierung erfolgte eine Wurzelkanalspülung mit einer Handspritze und einer NaviTip (Ultradent, South Jordan, UT, USA) der Größe 30 mit 2 ml 1%iger NaOCl Lösung.

Instrument	Arbeitslänge
.06/30	AL - 10 mm
.06/25	AL - 8 mm
.06/20	AL - 6 mm
.04/30	AL - 4 mm
.04/25	AL - 2 mm
.04/20	AL
.02/20	AL
.02/25	AL
.02/30	AL
.02/35	AL

Tab. 1: Reihenfolge der FlexMaster-Instrumentierung mit entsprechender Arbeitslänge

Im Anschluss wurde mit einer diamantierten Trennscheibe (Horico, Berlin) in Längsrichtung über die gesamte Länge des Zahnes eine Rille gefräst, ohne das Kanallumen hierbei zu eröffnen. Der Zahn konnte nun mittels eines kleinen Wachsmessers (Aesculap, Tuttlingen) vorsichtig in Längsrichtung gespalten werden. Das spaltfreie Zusammensetzen der Wurzelhälften wurde mit Hilfe eines Auflichtmikroskops (Motic Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic Deutschland GmbH, Wetzlar) bei 30x Vergrößerung überprüft. Zahnhälften, die nicht spaltfrei wieder zusammengesetzt werden konnten, wurden verworfen. Dabei mussten sechs Zähne aussortiert werden, da kein spaltfreies Zusammensetzen möglich war. Dies reduzierte die Gesamtprobenmenge auf 10 Zähne. Die Zahnhälften wurden mit horizontalen Kerben versehen, um die spätere Retention im Kunststoff zu erhöhen (Abb. 1).

Als erstes wurde nur eine Wurzelhälfte in Palavit (Heraeus, Wehrheim) eingebettet. Nach Aushärtung des Kunststoffes wurden zwei Ausbuchtungen in den Kunststoff präpariert, um später ein exaktes und verschiebungsfreies Zusammensetzen beider Hälften zu ermöglichen (Abb. 2). Im Anschluss wurde die eingebettete Zahnhälfte vollständig mit Vaseline (Favodent Karl Huber GmbH, Karlsruhe) isoliert, um die spätere Trennung beider Zahnhälften zu erleichtern. Danach wurde die dazugehörige Zahnhälfte mit Wachs in einer spaltfreien Position fixiert, um ein Verrutschen der zweiten Zahnhälfte und das Einfließen von Kunststoff beim Einbetten zu verhindern. In die fertigen Kunststoffblöcke wurden im Spaltbereich Sichtfenster präpariert, um mit dem Mikroskop die Spaltfreiheit der Zahnhälften kontrollieren zu können. Mit Hilfe einer Rohrschelle konnten nun die Hälften fixiert werden (Abb. 3).



Abb. 1: Zahnhälfte mit Retentionskerben



Abb. 2: In Palavit eingebettete Zahnhälften mit zwei Ausbuchtungen

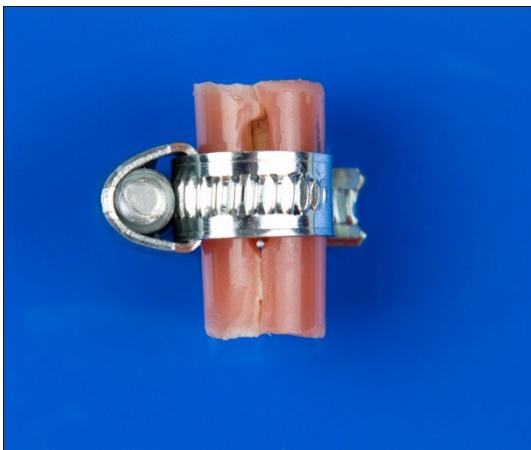


Abb. 3: Kunststoffblöcke mit Sichtfenster und Fixierung der Zahnhälften mit einer Rohrmanchette

Mit Hilfe eines modifizierten Rosenbohrers wurden 4 mm lange, 0,2 mm breite und 0,5 mm tiefe Kavitäten in die Kanalwand präpariert (Abb. 4).

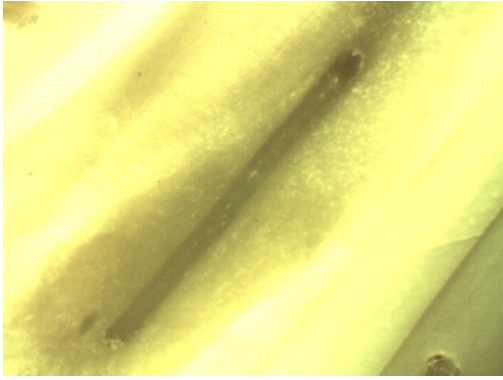


Abb. 4: In die Wurzelkanalwand präparierte Kavität bei 30facher Vergrößerung.

Diese Kavitäten simulieren mechanisch nicht instrumentierbare Bereiche ovaler Wurzelkanäle. Ovale Wurzelkanalquerschnitte können häufig nicht vollständig mechanisch präpariert werden, so dass die bukkalen und lingualen Ausläufer dieser Kanäle meist unbearbeitet bleiben. Die Kavitäten wurden in einer Wurzelhälfte im apikalen Wurzel Drittel in einer Entfernung von 2 mm bis 6 mm zum Apex präpariert. In der anderen Wurzelhälfte wurde die Kavität im koronalen Wurzel Drittel in einer Distanz von 10 mm bis 14 mm zum Apex angelegt (Abb. 5).

Um die Präparation so genau wie möglich zu gestalten, wurde das Handstück mit einem modifizierten Rosenbohrer an dem Objektträger eines Mikroskops fixiert. Somit konnte die Präparation exakt in horizontaler und vertikaler Richtung erfolgen (Abb. 6).

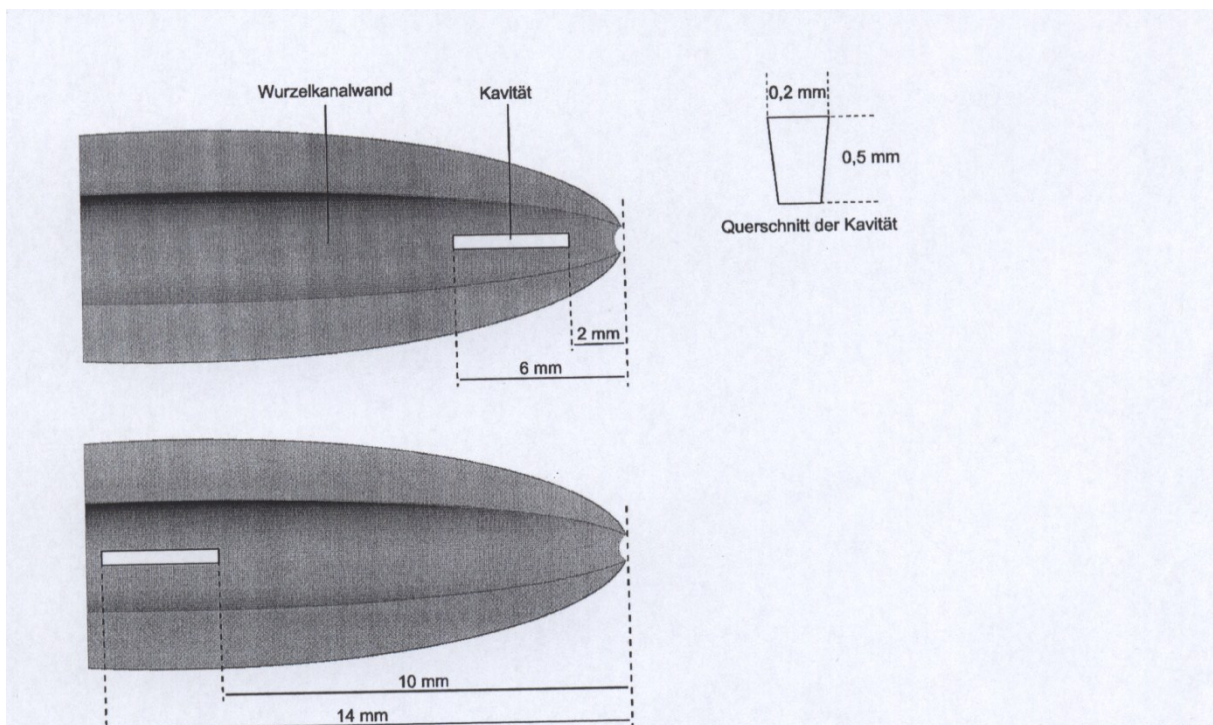


Abb. 5: Schematische Darstellung der Kavitätenpräparation. In einer Wurzelhälfte wurde die Kavität von 2 mm bis 6 mm, in der anderen Wurzelhälfte von 10 mm bis 14 mm in Entfernung vom Apex präpariert (Rödig et al. 2010b)

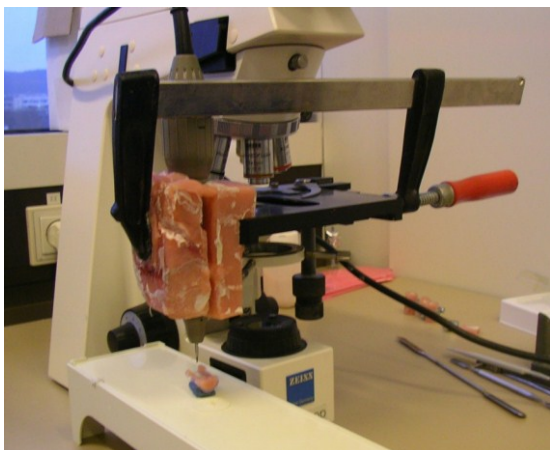


Abb. 6: Das Handstück mit einem modifizierten Rosenbohrer an dem Objektträger eines Mikroskops fixiert (Rödig et al. 2010a)

Im Anschluss wurden die präparierten Kavitäten und die Wurzelhälften mit einer Zahnbürste und mit Hilfe eines Reamers der ISO-Größe 08 (VDW) unter einem Auflichtmikroskop (Motic Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic) mit 30facher Vergrößerung gründlich von Debris befreit. Es erfolgte die

Bilderfassung der leeren Kavitäten durch ein Auflichtmikroskop (Motic Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic) bei 30facher Vergrößerung mittels einer Digitalkamera (Moticam 1300, Motic Deutschland GmbH, Wetzlar). Um einen standardisierten Blickwinkel für die digitalen Fotografien zu gewährleisten, wurde ein Schlüssel aus einer Silikonmasse von Silaplast (Dentax GmbH & Co. KG, Ettlingen) angefertigt (Abb. 7). Somit war es möglich, den Zahn während der Aushärtung in dem noch formbaren Silikon so auszurichten, dass die Kavität unter dem Mikroskop gut einsehbar war. Die Zahnhälften konnten nun für die prä- und postoperativen Fotografien mit Hilfe des Silikonschlüssels immer wieder reproduzierbar platziert werden.



Abb. 7: Geteilte Zahnhälften mit entsprechendem Silikonschlüssel zur Repositionierung unter dem Mikroskop

Im Anschluss erfolgte die Herstellung des künstlichen Debris. Hierfür wurden mit Hilfe eines Rotringdiamanten (Horico, Berlin) aus extrahierten Zähnen Dentinspäne gewonnen. Anschließend wurden 100 mg Dentinspäne mit 0,175 ml 1%iger NaOCl-Lösung vermischt, so dass eine cremige Konsistenz entstand.

Die erste Versuchsreihe lief folgendermaßen ab: Zunächst wurden die Gruben der Zahnhälften unter dem Auflichtmikroskop (Motic Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic) bei 30facher Vergrößerung locker mit dem künstlichen Debris befüllt, auf eine vollständige Befüllung überprüft und mit 30facher Vergrößerung fotografiert. Anschließend wurden die Zahnhälften zusammengesetzt und mit Hilfe einer Rohrschelle fixiert. Unter dem Auflichtmikroskop (Motic Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic) wurde bei 30facher Vergrößerung die Spaltfreiheit der Proben kontrolliert. In Gruppe 1 wurden die Proben mit einer Handspritze und einer NaviTip (Ultradent) der Größe 30 mit 20 ml 1% NaOCl gespült (Abb. 8). Die Eindringtiefe der Spülkanüle

betrug für jeden Zahn 15 mm. Anschließend wurden die Zahnhälften zur Ermittlung der Spülwirkung mit einer Digitalkamera (Moticam 1300) bei 30facher Vergrößerung fotografiert. Danach wurden die Gruben der Proben mit Hilfe eines Reamers der ISO-Größe 08 (VDW) und Kochsalzspülung von verbliebenen Debrisresten befreit und die sauberen Kavitäten mit einer Digitalkamera (Moticam 1300) bei 30facher Vergrößerung fotografiert.

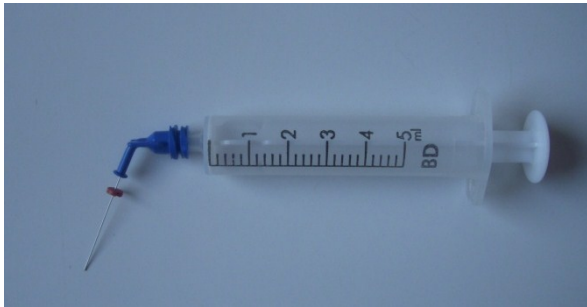


Abb. 8: Handspritze mit einer NaviTip der Größe 30

Die zweite und dritte Gruppe unterschieden sich nur durch die Art der Spülung von der ersten Gruppe. Nachdem die Zahnhälften mit dem künstlichen Debris befüllt und auf eine vollständige Befüllung überprüft und anschließend fotografiert wurden, wurden die Zahnhälften zusammengesetzt, mit Hilfe einer Rohrschelle fixiert und auf die Spaltfreiheit der Proben kontrolliert.

In Gruppe 2 erfolgte eine ultraschallaktivierte Spülung (EMS Piezon Master-400, Nyon, Schweiz) mit einem Ansatz der ISO-Größe 15 (Endosonore; Maillefer, Ballaigues, Schweiz) und 20 ml 1% NaOCl, wobei die Eindringtiefe der Spül-nadel 15 mm betrug. Die Intensität der Spülung betrug $\frac{1}{4}$ der Gesamtenergie. In Gruppe 3 wurden ebenfalls 20 ml NaOCl (1%) mit einem neuartigen Gerät zur Schallaktivierung der Spül-nadel (Vibringe, Vibringe B.V., Amsterdam, Niederlande) appliziert (Abb. 9). Die Eindringtiefe der verwendeten Spülkanüle (NaviTip, Ultradent, Größe 30) betrug ebenfalls 15 mm. Die Fließgeschwindigkeit in Gruppe 1 und 2 betrug ca. 5 ml/min, während in Gruppe 3 eine Spülgeschwindigkeit von 10 ml/min eingestellt wurde. Nach dem Spülvorgang wurden die Zahnhälften zur Festlegung der Spülwirkung mit einer Digitalkamera (Moticam 1300) bei 30facher Vergrößerung fotografiert.

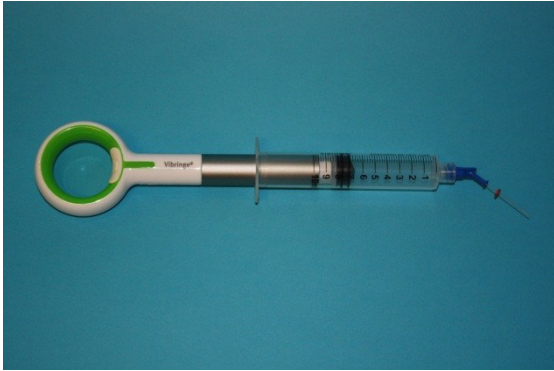


Abb. 9: VibriNGE-System (VibriNGE B.V.) mit einer NaviTip (Ultradent) der Größe 30

Die Fotografien zeigten die Menge des verbliebenen Debris in den Kavitäten. Für die Bewertung der Fotografien wurden die Proben so verschlüsselt, dass für den Untersucher nicht ersichtlich war, zu welcher Gruppe der Zahn gehörte. Die Menge des verbliebenen Debris in der Kavität wurde unter einem Mikroskop bei 30facher Vergrößerung von zwei kalibrierten Auswertern nach einem Scoresystem bewertet. Dabei nahmen die zwei Auswerter die Fotos der Kavitäten vor und nach der Spülung des Kanals bei der Evaluation zu Hilfe. Das verwendete Scoresystem wurde bereits von van der Sluis et al. (2007a) publiziert und besteht aus den folgenden Scores:

0: die Kavität ist leer (Abb. 10a)

1: weniger als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt (Abb. 10b)

2: mehr als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt (Abb. 10c)

3: die Kavität ist vollständig mit künstlichem Debris gefüllt (Abb. 10d)

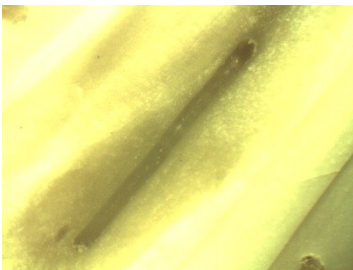


Abb. 10a: Score 0: die Kavität ist leer

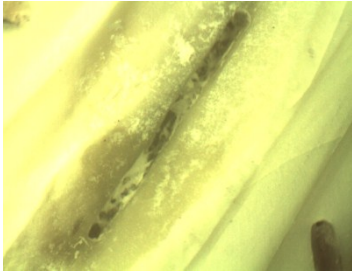


Abb. 10b: Score 1: weniger als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt

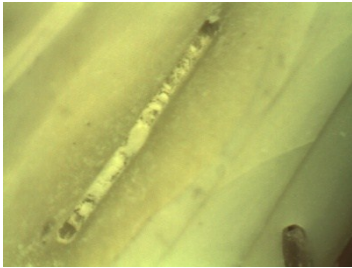


Abb. 10c: Score 2: mehr als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt

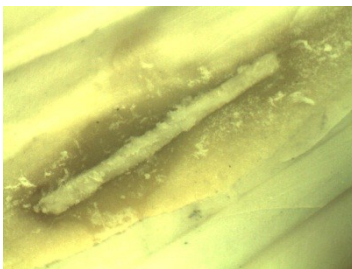


Abb. 10d: Score 3: die Kavität ist vollständig mit künstlichem Debris gefüllt

Für die Kalibrierung wurden zunächst 150 Zahnhälften bewertet und besprochen. Darauf folgend bewerteten die Untersucher nochmals 50 Zahnhälften und diskutierten abweichende Ergebnisse. Fünf Tage später wurden erneut 50 Zahnhälften bewertet und abweichende Ergebnisse diskutiert. Aus diesen Daten wurden die interindividuelle Übereinstimmung und die intraindividuelle Reproduzierbarkeit berechnet (Hülsmann et al. 1997). Die interindividuelle Übereinstimmung ergibt sich aus dem Quotient aus den von beiden Untersuchern übereinstimmend bewerteten Proben und der Gesamtzahl der bewerteten Proben. Das Ergebnis wurde in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl des Ergebnisses, desto mehr Proben haben beide Untersucher mit demselben Score bewertet. Die intraindividuelle Reproduzierbarkeit gibt den Anteil der von einem Untersucher in einem zweiten Durchgang erneut mit dem gleichen Score bewerteten Proben und der Gesamtzahl der bewerteten Proben an.

Das Ergebnis wurde wiederum in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl, desto mehr Proben wurde in dem zweiten Durchgang erneut mit demselben Score bewertet wie im Durchgang zuvor. Diese Resultate geben eine Aussage über das Maß der Standardisierung in der Bewertung der Proben durch einen Auswerter.

In diesem Experiment liegt ein statistisches longitudinales 3-faktorielles (LD-F3) Design vor. Jeder Zahn wurde nicht einmal gemessen, sondern jede der beiden Zahnhälften wurde nach drei verschiedenen Behandlungsmethoden von zwei Untersuchern („readern“) beurteilt. Es liegen zu jedem Zahn 12 Messungen vor. Diese Messungen können nicht als unabhängig angesehen werden, da sie nicht von unterschiedlichen Zähnen stammen. Folgende Faktoren wurden berücksichtigt: Zahnhälfte, Gruppe und Reader. Weiterhin wurden Paarvergleiche der Spültechniken, für multiples Testen adjustiert nach Tukey angestellt. Die Ergebnisse der Versuche wurden für das koronale und apikale Drittel gemeinsam sowie nach Dritteln getrennt untersucht. Das Signifikanzniveau wurde auf $p=0,05$ festgelegt.

7. Ergebnisse

7.1 Untersucherübereinstimmung

Bei der Bewertung der Proben durch die beiden Untersucher wurde eine Differenz von einem Score weder bei der interindividuellen Übereinstimmung noch bei der intraindividuellen Reproduzierbarkeit überschritten. Die interindividuelle Übereinstimmung betrug sowohl im ersten als auch im zweiten Durchgang 94% (Tab. 2). Die intraindividuelle Reproduzierbarkeit lag sowohl bei Untersucher 1 (Tab. 3) als auch bei Untersucher 2 bei 98% (Tab. 3). Die Übereinstimmung und Reproduzierbarkeit können somit beide als sehr gut bezeichnet werden.

Vollständige Übereinstimmung		
	n	%
1. Untersuchung	47/50	94%
2. Untersuchung	47/50	94%

Tab. 2: Interindividuelle Übereinstimmung

Vollständige Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Durchgang	
n	%
49/50	98%

Tab. 3: Intraindividuelle Reproduzierbarkeit Untersucher 1

Vollständige Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Durchgang	
n	%
49/50	98%

Tab. 4: Intraindividuelle Übereinstimmung Untersucher 2

7.2 Ergebnisse des Hauptversuches

In diesem Experiment lag ein statistisches longitudinales 3-faktorielles (LD-F3) Design vor. Jeder Zahn wurde nicht nur einmal gemessen, sondern jede der beiden Zahnhälften wurde unter drei verschiedenen Behandlungsmethoden von zwei Untersuchern („readern“) beurteilt. Folgende Faktoren wurden hier berücksichtigt: Zahnhälfte: a, b (apikales und koronales Wurzelkanaldrittel);

Gruppe: 1, 2, 3 (Handspülung, ultraschallaktivierte Spülung, Vibringe-System); Reader: 1, 2. Dabei zeigten sich zunächst signifikante Einzeleffekte von Wurzelkanaldrittel ($p < 0,0001$) und den experimentellen Gruppen ($p < 0,0001$) und keine Signifikanz zwischen den Readern. Es erwies sich weder die Interaktion zwischen Gruppe und Reader ($p = 0,2121$), noch die zwischen Gruppe, Zahnhälfte und Reader ($p = 0,08187$) als signifikant. Hingegen erwies sich aber die Interaktion zwischen Gruppe und Zahnhälfte ($p = 0,020$) und zwischen Zahnhälfte und Reader ($p = 0,0249$) als signifikant (Tab. 4).

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	< 0,0001	Signifikant
Zahnhälfte	< 0,0001	Signifikant
Reader	0,9825	Nicht signifikant
Gruppe * Zahnhälfte	0,020	Signifikant
Gruppe * Reader	0,2121	Nicht signifikant
Zahnhälfte * Reader	0,0249	Signifikant
Gruppe * Zahnhälfte * Reader	0,0819	Nicht signifikant

Tab. 5: Rangverfahren für longitudinale Daten zur Überprüfung der Interaktion zwischen Gruppe, Zahnhälfte und Reader

Aufgrund der signifikanten Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zahnhälfte und zwischen Zahnhälfte und Reader wurde die Analyse nach der Zahnhälfte (koronales und apikales Kanaldrittel) gesplittet. Im Paarvergleich zwischen Handspülung (Gruppe 1) und Vibringe-System (Gruppe 3) zeigte sich eine signifikant bessere Entfernung von künstlichem Debris im apikalen Kanaldrittel ($p = 0,00516$; $p = 0,0021$) als im koronalen Kanaldrittel. Das koronale und apikale Kanalareal unterschieden sich bei der ultraschallaktivierten Spülung (Gruppe 2) nicht signifikant voneinander ($p = 0,1598$) (Tab. 6).

Gruppe	Zahnhälfte a (apikales Drittel) vs. Zahnhälfte b (koronales Drittel)	Interpretation
Gruppe 1 (Handspülung)	0,0052	Signifikant
Gruppe 2 (Ultraschall)	0,1598	Nicht Signifikant
Gruppe 3 (Vibringe-System)	0,0021	Signifikant

Tab. 6: Ergebnisse der Gruppen für beide Zahnhälften

Da die Interaktion zwischen Gruppe und Zahnhälfte signifikant war ($p=0,020$) (Tab. 5), wird das Modell nun für die in dieser Studie untersuchten apikalen (Tab. 7, Abb. 11) und koronalen (Tab. 8, Abb. 12) Kanaldritteln einzeln betrachtet.

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	<0,0001	Signifikant
Reader	0,0495	Nicht Signifikant
Gruppe * Reader	0,0495	Nicht Signifikant

Tab. 7: Effektwerte für die Faktoren Gruppe und Reader im apikalen Kanaldritteln

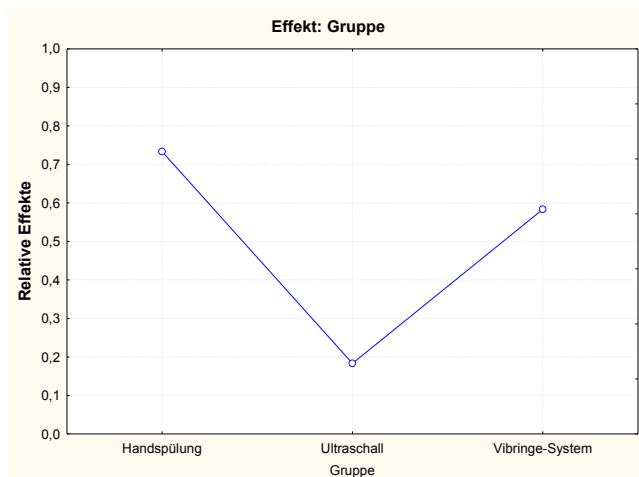


Abb. 11: Effektwerte der vergebenen Scores für das apikale Kanaldritteln

Effekt	p-Wert	Interpretation
Gruppe	< 0,0001	Signifikant
Reader	0,1717	Nicht Signifikant
Gruppe * Reader	0,9127	Nicht Signifikant

Tab. 8: Effektwerte für die Faktoren Gruppe und Reader im koronalen Kanaldrittel

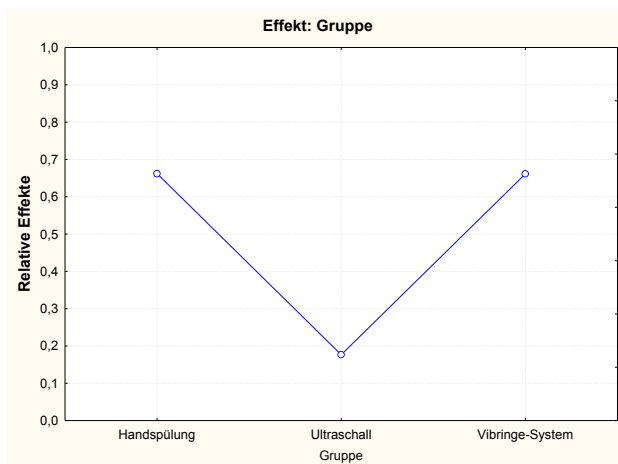


Abb. 12: Effektwerte der vergebenen Scores für das koronale Kanaldrittel

Die ultraschallaktivierte Spülung (Gruppe 2) entfernte den künstlichen Debris sowohl im apikalen als auch im koronalen Kanaldrittel signifikant besser als die Handspülung (Gruppe 1) und das Vibringe-System (Gruppe 3) ($p=0,0001$) (Tab. 9, Abb. 13). Im koronalen Kanaldrittel lag kein signifikanter Unterschied ($p=1$) zwischen der Handspülung und dem Vibringe-System vor. Im Gegensatz dazu zeigte sich das Vibringe-System im Vergleich zur Handspülung in der apikalen Zahnhälfte signifikant überlegen ($p=0,0124$). Im Paarvergleich wurde deutlich, dass die Handspülung und das Vibringe-System im apikalen Kanaldrittel den Debris signifikant effektiver entfernten als im koronalen Kanaldrittel ($p=0,0001$) (Tab. 9, Abb. 14).

Gruppenvergleich	Zahnhälfte a (apikales Drittel)	Zahnhälfte b (koronales Drittel)
Gruppe 1 (Handspülung) vs. Gruppe 2 (Ultraschall)	< 0,0001	< 0,0001
Gruppe 1 (Handspülung) vs. Gruppe 3 (Vibringe)	0,0124	1
Gruppe 2 (Ultraschall) vs. Gruppe 3 (Vibringe)	< 0,0001	< 0,0001

Tab. 9: Paarvergleiche der Gruppen für das apikale und koronale Kanaldrittel

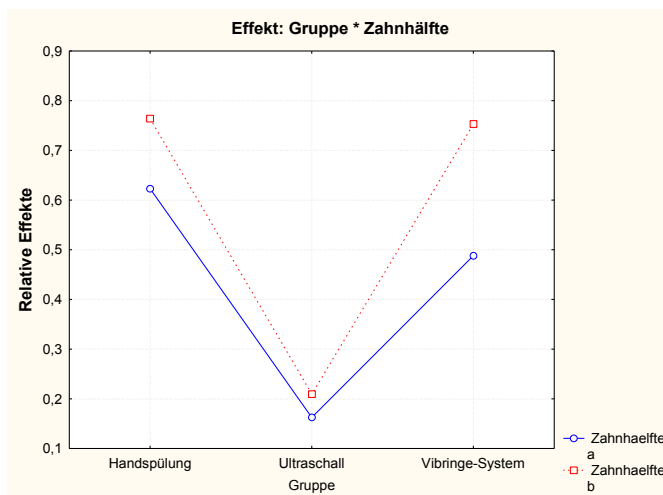


Abb. 13: Effektwerte der vergebenen Scores für das apikale und das koronale Kanaldrittel

Zahnhälfte a: apikales Kanaldrittel, Zahnhälfte b: koronales Kanaldrittel

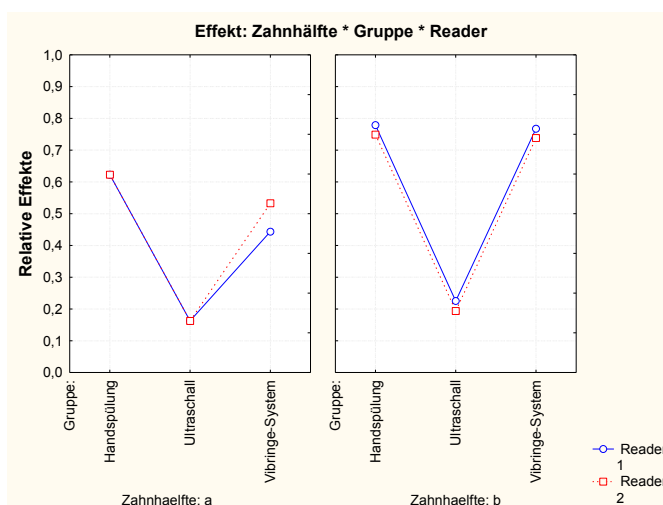


Abb. 14: Effektwerte der Scores der verschiedenen Gruppen nach Kanaldrittel getrennt

Zahnhälfte a: apikales Kanaldrittel, Zahnhälfte b: koronales Kanaldrittel

Durch den Paarvergleich der Gruppen wurde deutlich, dass die Handspülung die präparierten Kavitäten nicht komplett von dem künstlichen Debris reinigen konnte. Nach Spülung mit dem Vibringe-System waren lediglich 5% der Proben sauber, während bei der ultraschallaktivierten Spülung bei 92,5% der Proben die Kavitäten vollständig von künstlichem Debris (Score 0) befreit waren (Tab. 10, Abb. 15).

Gruppe	Zahnhälfte	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Handspülung	koronal	0	3	13	4
	apikal	0	10	10	0
Ultraschall	koronal	17	3	0	0
	apikal	20	0	0	0
Vibringe-System	koronal	0	5	9	6
	apikal	2	15	3	0

Tab. 10: Verteilung Scores nach Gruppen und Zahnhälften(20 Zahnhälften und 2 Reader; n=40).

Scores:

0: die Kavität ist leer; 1: weniger als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt; 2: mehr als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt; 3: die Kavität ist vollständig mit künstlichem Debris gefüllt

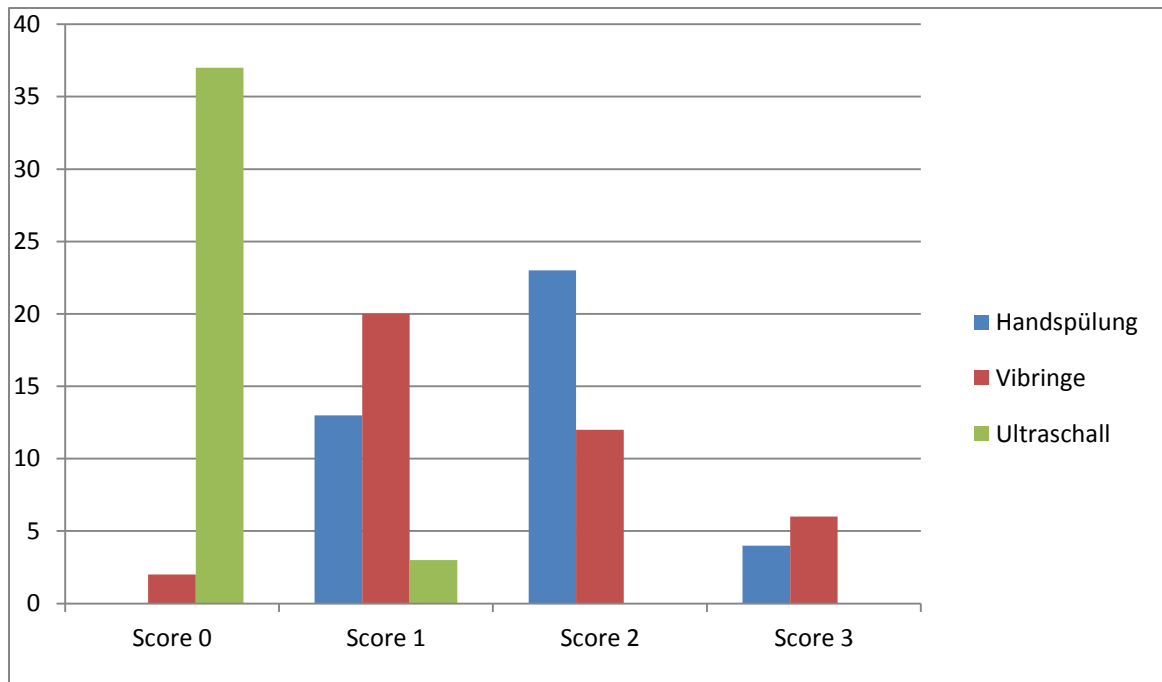


Abb. 15: Aufteilung der Scores(20 Zahnhälften, (für das apikale und koronale Kanaldrittel zusammen, und 2 Reader; n=40)

Scores:

0: die Kavität ist leer; 1: weniger als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt;
 2: mehr als die Hälfte der Kavität ist mit künstlichem Debris gefüllt; 3: die Kavität ist vollständig mit künstlichem Debris gefüllt

8. Diskussion

8.1 Diskussion der Methode

Der Aufbau der Studie ist im Wesentlichen an die Versuchsanordnung von Lee et al. (2004a, 2004b) angelehnt, die ebenfalls die Entfernbarekeit von künstlichem Debris mit verschiedenen Spültechniken aus dem Wurzelkanal überprüften. Die Entfernbarekeit von Debris aus dem Wurzelkanal wurde bereits in mehreren Studien untersucht (van der Sluis et al. 2005a, 2005b, 2007a, 2009). Dieses Studiendesign wurde auch für die Untersuchungen der Entfernbarekeit von Kalzium-hydroxid verwendet (van der Sluis et al. 2007a, Rödiger et al. 2010b). Während andere Untersucher die gesamte Kanalwand bewerteten (Lambrianidis et al. 1999, 2006, Kenney et al. 2006), wurde in der vorliegenden Studie die Entfernung von Debris aus einer künstlich angelegten Kavität im Wurzelkanal-dentin bewertet. Der Vorteil dieser Kavität liegt in einer guten Abgrenzung des zu bewertenden Bereiches. Diese Kavitäten spiegeln seitliche Ausläufer ovaler Wurzelkanäle wider, die mechanisch nicht instrumentierbar und besonders schwierig zu reinigen sind. Mit einem Instrument runden Querschnitts können diese häufig vorliegenden, irregulären und ovalen Wurzelkanalquerschnitte nicht vollständig mechanisch präpariert werden, ohne die Wurzel zu schwächen oder sie zu perforieren (Wu & Wesselink 2001). Daher wurde die Reinigung dieser unbearbeiteten bukkalen und lingualen Ausläufer überprüft. Man kann außerdem schlussfolgern, dass bei der Reinigung der schwer zugänglichen Ausläufer auch die leichter zu reinigenden Areale des Wurzelkanals von Debris befreit werden können. Der größte Nachteil dieses Modells besteht darin, dass die künstlich angelegten Kavitäten nicht die Komplexität eines natürlichen Wurzelkanalsystems repräsentieren. Aus diesem Grund wird die Reinigungswirkung der untersuchten Spültechniken *in vitro* vermutlich überschätzt.

In der vorliegenden Studie wurde zusätzlich zur apikalen Kavität noch eine weitere Kavität im koronalen Drittel der gegenüberliegenden Wurzelhälfte angelegt. Im Gegensatz zum engen apikalen Kanaldrittel ist die Reinigung im weiten koronalen Kanaldrittel leichter durchzuführen (Margelos et al. 1997, Scelza et al. 2000, Hülsmann et al. 2003, Torabinejad et al. 2003b, Lambrianidis et al. 2006, Nandini et al. 2006). Eine weitere mittlere Kavität wäre zum einen aus Platzgründen nicht möglich gewesen; zum anderen haben verschiedene Studien gezeigt, dass sich die Reinigungsergebnisse für das koronale und mittlere Drittel nicht signifikant voneinander unterscheiden (Scelza et al. 2000, To-

rabinejad et al. 2003b). Ein weiterer Vorteil des vorliegenden Versuchsaufbaus liegt in der hohen übereinstimmenden Bewertung der Proben durch die beiden Untersucher. Während der Bewertung der Proben erreichten die Untersucher eine interindividuelle Übereinstimmung sowohl im ersten als auch im zweiten Durchgang mit 94%. Auch bei der intraindividuellen Reproduzierbarkeit zeigte sich eine sehr hohe Übereinstimmung, wobei diese bei beiden Untersuchern bei 98% lag. In der statistischen Analyse konnte kein signifikanter Einfluss des Untersuchers („reader“) ermittelt werden, d. h. dass eine systematische Beeinträchtigung der Ergebnisse durch den Bewerter ausgeschlossen wurde.

Im Gegensatz zu van der Sluis et al. (2007a) basierte die Bewertung der Kavitäten nicht nur auf der Auswertung von Fotografien, da diese die Kavität lediglich in einer Dimension darstellen. In der vorliegenden Studie wurde die Auswertung direkt unter dem Mikroskop durchgeführt und die Fotografien zusätzlich zum Vergleich benutzt, um eine dreidimensionale Sicht zu erhalten und somit eine optimale Auswertung über die Entfernung des künstlichen Debris zu treffen. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Studie ist, dass die angelegten Kavitäten vor der Spülung fotografiert werden konnten und somit eine vollständige, präoperative Füllung der Kavitäten gewährleistet war. Es lässt sich somit eine genauere Aussage über die Effektivität der Spültechniken treffen. Bisherige Studien bewerteten die Kavität lediglich nach der Spülung (Abbott et al. 1991, Lumley et al. 1993).

Für die Auswertung wurde ein Scoresystem angewendet, das den verbliebenen Debris in vier Grade unterteilt. Somit lässt sich eine genauere Aussage über die Effektivität der Spültechniken als bei einer reinen Ja/Nein- Entscheidung treffen. Der Nachteil des Scoresystems, das erstmals von van der Sluis et al. (2007a) beschrieben wurde, besteht in der subjektiven Bewertung des Untersuchers. Um diesen Faktor zu reduzieren, wurde vor der Hauptuntersuchung eine gründliche Kalibrierung der Untersucher mit einer hohen interindividuellen Übereinstimmung und intraindividuellen Reproduzierbarkeit vorgenommen.

Die zehn Probenzähne wurden mehrmalig verwendet und in jeder der drei experimentellen Gruppen eingesetzt. Die ultraschallaktivierte Spülung wurde dabei als letzte Spültechnik angewendet, da die transversalen Schwingungen der Ultraschallfeile möglicherweise zu einem unkontrollierbaren Dentinabtrag und damit einer veränderten Wurzelkanalmorphologie führen können.

Das Ziel der Studie lag in der Evaluierung der am besten geeigneten Spültechnik zur Entfernung von künstlichem Debris. Um den Einfluss der Spüllösung auf das Ergebnis möglichst gering zu halten, wurde für alle Gruppen die gleiche Spülmenge (20 ml) und die gleiche Spülflüssigkeit (NaOCl) verwendet. Zur Präparation der Wurzelkanäle wurden FlexMaster-Nickel-Titan-Instrumente verwendet, um ein größtmögliches Maß an Standardisierung der Präparation bzw. der resultierenden Kanalgeometrie zu erreichen. Die Konzentration des NaOCl betrug 1% und die Spüldauer 5 min. Diese geringe Konzentration des NaOCl ist ausreichend, um zum einen den Wurzelkanal effektiv zu reinigen und zum anderen möglichst geringe zytotoxische Nebenwirkungen hervorzurufen (Zehnder et al. 2003, Hülsmann 2006). Zu beachten ist jedoch, dass NaOCl unter den im Wurzelkanalsystem vorherrschenden Bedingungen durch nekrotisches und vitales Gewebe relativ schnell inaktiviert wird (Haapasalo HK et al. 2000, Portenier et al. 2001, 2002). Außerdem ist die Kombination der ultraschallaktivierten Spülung mit NaOCl für eine Entfernung von Debris aus dem Wurzelkanal effektiver als die Handspülung (Goldman et al. 1981, Lee et al. 2004a). Die Versuche wurden unter möglichst praxisnahen Bedingungen ausgeführt, d.h. dass mit natürlichen Zähnen und nicht mit künstlichen Wurzelkanälen aus Kunstharz gearbeitet wurde, so wie in einer Studie von van der Sluis et al. (2005a). Der Vorteil der Studien mit natürlichen Zähnen liegt darin, dass Wurzelentin bzw. die im Wurzelkanal vorherrschenden Bedingungen gegeben sind, denn Wurzelentin beeinflusst die Wirksamkeit der Spüllösung (Haapasalo HK et al. 2000, Portenier et al. 2001).

8.2 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Auswertung zeigten sich zunächst signifikante Einzeleffekte des Wurzelkanaldrittels ($p < 0,0001$) und der experimentellen Gruppen ($p < 0,0001$), jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Readern ($p = 0,9825$). Das bedeutet, dass die Untersucher keinen systematischen Einfluss auf die Ergebnisse hatten. Wie oben bereits erwähnt, erreichten die Untersucher eine hohe interindividuelle Übereinstimmung und intraindividuelle Reproduzierbarkeit.

Die prozentuale Auswertung des Gruppenvergleichs zeigte, dass keine Spültechnik in der Lage war, den Debris vollständig aus der künstlichen Kavität zu entfernen. Nach Spülung mit dem Vibringe-System waren lediglich 5% der Proben sauber, während bei der ultraschallaktivierten Spülung bei 92,5% der Proben die Kavitäten vollständig von Debris (Score 0) befreit waren (Tab. 10,

Abb. 15). Diese Ergebnisse stimmen mit denen einer aktuellen Untersuchung mit ähnlichem Versuchsaufbau (Jiang et al. 2010) überein, bei der nach schallaktivierter Spülung lediglich 5,5%-6,7% und nach ultraschallaktivierter Spülung 89% der Proben vollständig von künstlichem Debris befreit waren (Score 0).

Die Ergebnisse zeigen, dass keine Spültechnik in der Lage war, den künstlichen Debris vollständig aus den Kavitäten zu entfernen. Jedoch zeigt die Auswertung auch, dass die ultraschallaktivierte Spülung signifikant mehr Debris aus den Kavitäten entfernte als die Handspülung und die schallaktivierte Spülung mit dem Vibringe-System (Abb. 13). Weitere Autoren stellten ebenfalls fest, dass die ultraschallaktivierte Spülung im Vergleich zu schallaktivierten Spülungen Debris effektiver aus dem Wurzelkanal entfernt (Stamos et al. 1987, Sabins et al. 2003, Jiang et al. 2010). Dies könnte dadurch zustande kommen, dass das eingespannte Instrument des Ultraschallgeräts eine höhere Schwingungsfrequenz als das Schallgerät aufweist. Die Schwingungsfrequenz des Ultraschallgeräts beträgt etwa 30 kHz und die des Schallgeräts etwa 150 Hz. Deshalb sind auch bei der schallaktivierten Spülung sowohl Fließgeschwindigkeit als auch Effektivität der Debrisentfernung geringer (Ahmad et al. 1987, Sabins et al. 2003). Bei der ultraschallaktivierten Spülung resultieren eine effektivere Aktivierung der Spüllösung und eine bessere Reinigung der künstlichen Kavitäten. Ahmad et al. (1987) konnten zeigen, dass die Ultraschallspülung mehr akustische Mikroströmungen induziert und die Schmierschicht und Debris effektiver reduziert als eine schallgestützte Spülung. Die meisten Studien bescheinigen der ultraschallaktivierten Spülung eine effektivere Entfernung von Debris als der herkömmlichen Handspülung (Cheung & Stock 1993, Lee et al. 2004b, Passarinho-Neto et al. 2006).

Die Fließgeschwindigkeit bei der Handspülung und der schallaktivierten Spülung betrug ca. 5 ml/min. Das Ultraschallgerät wurde mit einer kontinuierlichen Flüssigkeitszufuhr mit 10 ml/min („continuous flush“) betrieben. Im Allgemeinen kann die Spüllösung während einer ultraschallaktivierten Spülung entweder mit der Handspritze („intermittent flush“) oder über das Handstück des Ultraschallgeräts („continuous flush“) eingebracht werden. Bei der „intermittent flush“-Technik wird die Spüllösung zunächst mit einer Handspritze appliziert und anschließend mit einem Ultraschallansatz aktiviert. Eine erneute Handspülung schwemmt anschließend den gelockerten Debris sowie organisches und anorganisches Material aus dem Wurzelkanal. Bei der „continuous flush“-Technik erfolgt die kontinuierliche Zufuhr der Spüllösung über das Ultraschall-

gerät. Van der Sluis et al. (2006) konnten allerdings keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Debrisentfernung zwischen diesen beiden Techniken feststellen. Wenn während einer dreiminütigen Ultraschallspülung das Flüssigkeitsvolumen auf 50 ml („continuous flush“) und bei der Spritzenapplikation („intermittent flush“) auf 3 ml limitiert wird, so resultiert eine vergleichbare Entfernung des Debris (van der Sluis et al. 2006). Die Ultraschallaktivierung erhöht die Strömungsgeschwindigkeit der Spülflüssigkeit, wodurch Debris von der Kanalwand abgelöst und aus dem Wurzelkanal herausgespült wird. Van der Sluis et al. (2006) konnten ebenfalls zeigen, dass eine ca. 20sekündige Ultraschallaktivierung der Natriumhypochloritlösung ausreicht, um Dentindebris aus künstlichen Kavitäten im Wurzelkanal zu entfernen. Wenn dieser Vorgang, Flüssigkeitsapplikation (2 ml NaOCl) und Ultraschallagitation (20 sec), dreimal innerhalb einer Minute wiederholt wurde, konnten im Vergleich zur manuellen Spültechnik signifikant bessere Ergebnisse erzielt werden. Während der Ultraschallspülung wird die Energie der aktivierten Instrumente auf das Spülmedium übertragen, wobei die Schallwellen akustische Mikroströmungen und Kavitationen auslösen. Diese hydrodynamische Wirkung führt demnach zu einer effektiveren Entfernung des Debris als die manuelle Spültechnik (Abou-Rass & Piccinino 1982, Huang et al. 2008).

In der allgemeinen Auswertung lässt sich beobachten, dass die Entfernung von Debris im apikalen Kanalanteil besser als im koronalen Kanalanteil abschnitt (Abb. 14, Tab. 10). Im apikalen Kanaldrittel war die schallaktivierte Spülung (Vibringe-System) der manuellen Spültechnik signifikant überlegen ($p = 0,0124$). Im Gegensatz dazu lag im koronalen Kanaldrittel kein signifikanter Unterschied zwischen der Handspülung und dem Vibringe-System vor ($p = 1$) (Tab. 9). Eine mögliche Erklärung für das schlechte Abschneiden der beiden Spültechniken im koronalen Drittel gegenüber der Ultraschalltechnik wäre keine bzw. eine geringe Vibration der Feile in diesem Bereich. Die Schwingungsamplitude der schallaktivierten Spülung ist an der Nadelspitze höher als am anderen, befestigten Ende der Nadel. Die höhere Schwingungsamplitude der Feilenspitze führte vermutlich zu einer größeren Strömungsgeschwindigkeit der Spüllösung, wodurch eine effektivere Entfernung des Debris aus den apikalen Kavitäten möglich war. Die Schwingungsamplitude der ultraschallaktivierten Spülung ist an der Feilenspitze am größten, wodurch sich eine nach koronalwärts gerichtete Flüssigkeitsströmung entwickelt, die ebenfalls den koronalen Kanalanteil effektiv reinigt (Ahmad et al. 1987, Lumley et al. 1991, Roy et al.

1994). Eine weitere Ursache für eine schlechtere Reinigungswirkung der Hand- bzw. der schallaktivierten Spülung im koronalen Kanaldrittel könnte damit zusammenhängen, dass ein großer Abstand zwischen der Feilenspitze und den koronalen Kavitäten vorhanden ist und die Strömungsgeschwindigkeit der Spülflüssigkeit auf dem Weg von apikal nach koronal kontinuierlich reduziert. Beim Spülvorgang war die Spülkanüle auf Arbeitslänge minus 1 mm in den Wurzelkanal eingebracht. Die Öffnung der Kanüle befand sich also direkt an der Kavität im apikalen Drittel. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Eindringtiefe der Kanüle und die Distanz der Spülkanüle zu den Kavitäten eine erhebliche Rolle bei der Entfernung von Debris spielen.

In der vorliegenden Studie könnte dennoch die chemische Wirksamkeit der Spüllösung der Grund für die bessere Reinigungswirkung im apikalen Kanaldrittel sein. Man beobachtet, dass NaOCl unter den im Wurzelkanalsystem vorherrschenden Bedingungen durch Serumproteine und Dentinspäne relativ schnell inaktiviert wird (Haapasalo HK et al. 2000, Portenier et al. 2001, 2002). Wenn die Lösung im apikalen Drittel die Kanüle verlässt, kommt sie in Kontakt mit organischem Material und das freie Chlorid wird schnell gebunden. Hier beginnt die Sättigungsreaktion. Die Lösung sättigt sich auf dem Weg nach koronal immer weiter. Es ist also möglich, dass zu der hydrodynamischen Wirkung im apikalen Drittel eine chemische Spülwirkung hinzukam. Somit wären die Ergebnisse für den Vergleich von apikalem und koronalem Drittel verfälscht. Fraglich ist jedoch, ob bei kontinuierlicher Spülung auf einer Strecke von der apikalen bis zur koronalen Kavität eine Inaktivierung der Spüllösung stattfinden kann, die das Ergebnis signifikant beeinflusst. Wäre die chemische Wirkung ausschlaggebend, würden in der Reinigungswirkung der verschiedenen Spülsysteme keine unterschiedlichen Ergebnisse vorliegen. Der hydrodynamische Effekt beim Spülvorgang hat demnach bei einer künstlichen Kavität ein größeres Gewicht als die chemische Wirksamkeit einer Spüllösung.

Wie bereits erwähnt, zeigte sich eine generell bessere Reinigungswirkung im apikalen Kanaldrittel als im koronalen Kanaldrittel (Abb. 14, Tab. 10). Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu einer anderen Studie, bei denen Debris aus dem koronalen Drittel leichter zu entfernen war als aus dem apikalen Drittel (Sabins et al. 2003). Auch andere Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass das apikale Drittel schlechter zu reinigen ist als das koronale Drittel (Scelza et al. 2000, Hülsmann et al. 2003, Torabinejad et al. 2003b). Im Gegensatz dazu konnten Munley & Goodell (2007) keinen Unterschied hinsichtlich der Entfer-

nung von Debris aus unterschiedlichen Wurzelkanaldritteln beobachten. Der verwendete Versuchsaufbau lässt keine Unterschiede zu anderen Spülstudien erkennen, bei denen die Reinigung im apikalen der im koronalen Drittel überlegen war. Im Wesentlichen wurde der Versuchsaufbau von Lee et al. (2004a) übernommen, der in verschiedenen anderen Spülstudien Verwendung fand (van der Sluis et al. 2005a, 2005b, Jiang et al. 2010). Die Spülmenge, der Kanülen- und Aufbereitungsdurchmesser entsprechen denen anderer Studien (Lee et al. 2004a, Lambrianidis et al. 2006, van der Sluis et al. 2007a). Für die abweichenden Ergebnisse sind somit die genannten Faktoren nicht ausschlaggebend. Da beide Kavitäten unter direkter Sicht mit künstlichem Debris gefüllt wurden, scheidet ein unterschiedlicher Füllungsgrad der apikalen und koronalen Kavität als Grund für die abweichenden Ergebnisse aus. Die zusammengesetzten Zahnhälften wurden auf Spaltfreiheit überprüft, um eine exakte Passung beider Zahnhälften zu gewährleisten. Durch ein exaktes Zusammensetzen beider Hälften wurde verhindert, dass die Spüllösung entweicht und keine ausreichende Spülung des koronalen Kanaldrittels ermöglicht wird. Der vorliegende Versuchsaufbau unterscheidet sich im Wesentlichen hinsichtlich der Präparation einer zweiten Kavität im koronalen Kanaldritteln von anderen Studien, bei denen lediglich eine Kavität im apikalen Kanaldritteln präpariert wurde (Lee et al. 2004a, van der Sluis et al. 2005a, 2005b, Jiang et al. 2010). Andere Studien verwendeten keine künstlichen Kavitäten (Margelos et al. 1997, Scelza et al. 2000, Hülsmann et al. 2003, Torabinejad et al. 2003a, Lambrianidis et al. 2006, Nandini et al. 2006), sondern bewerteten die gesamte Kanalwand. Es ist anzunehmen, dass hier die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse zu suchen ist. In Versuchsaufbauten ohne Kavität liegt der Debris der Wurzelkanalwand auf und ist somit nur an einer Seite mit dem Wanddentin verbunden. Dadurch ist der Debris direkt der Flüssigkeitsströmung ausgesetzt und bietet eine größere Angriffsfläche für die Spülung. In der Kavität ist der Debris von mehreren Dentinewänden umgeben, wodurch der Flüssigkeitsstrom über die Kavität hinweg fließen kann. Demnach spielt auch ein hydrodynamischer Effekt bzw. die Aktivierung der Spülflüssigkeit bei der Entfernung von Debris eine große Rolle. Einige Studien zeigten, dass die Effektivität der Entfernbarkeit von Debris mit dem apikalen Präparationsquerschnitt des Wurzelkanals zusammenhängt. Lee et al. (2004b) und van der Sluis et al. (2005b) konnten zeigen, dass die Entfernung von Debris im apikalen Kanalanteil mit einem größeren Kanaldurchmesser einfacher zu erreichen ist. Die Wurzelkanäle wurden bis zur ISO-Größe 20

und mit einer steigenden Konizität präpariert. Je größer der Präparationsquerschnitt war, desto besser konnte der Debris entfernt werden. Huang et al. (2008) stellten einen besseren Flüssigkeitsaustausch zwischen apikalem und koronalem Kanalanteil bei einem großen apikalen Durchmesser von ISO 40 und einer Konizität von 8% fest. Dieses Ergebnis widerspricht dem einer Studie von Rödiger et al. (2010a), in der die Reinigungswirkung verschiedener Spülsysteme bei unterschiedlichen apikalen Präparationsgrößen untersucht wurde. Es wurden drei unterschiedliche Präparationsgrößen (ISO-Größe 30, 40 und 50) untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die apikale Präparationsgröße keinen Einfluss auf die Reinigungswirkung hat. Da in der vorliegenden Studie alle Wurzelkanäle in einer standardisierten Crown-down-Sequenz bis zur Größe .02/35 präpariert wurden, kann keine Aussage zu unterschiedlich großen Apikalpräparationen getroffen werden.

Abschließend kann festgestellt werden, dass keine Spültechnik in der Lage war, den künstlichen Debris vollständig aus den künstlichen Kavitäten in geraden Wurzelkanälen zu entfernen. Die ultraschallaktivierte Spülung entfernte Debris sowohl im apikalen als auch im koronalen Drittel signifikant besser als die Handspülung und die schallaktivierte Spülung. Das Vibringe-System hingegen zeigte sich im Vergleich zur Handspülung in der apikalen Zahnhälfte als signifikant überlegen.

9. Zusammenfassung

Ziel der Studie: Das Ziel der Studie war es, verschiedene Spültechniken auf ihre Effektivität zur Entfernung von künstlichem Debris aus dem Wurzelkanal zu untersuchen. Weiterhin sollten die Unterschiede in der Wirksamkeit der Spültechnik im apikalen und koronalen Wurzelkanaldrittel berücksichtigt werden.

Material und Methode: Es wurden 10 menschliche seitliche obere Schneidezähne mit gerader Wurzel mit FlexMaster-Nickel-Titan-Instrumenten (VDW, München) in einer standardisierten Crown-down-Sequenz bis zur Größe .02/35 erweitert und längs gespalten. In jeweils eine Wurzelhälfte wurde entweder im apikalen bzw. im koronalen Kanaldrittel eine standardisierte Kavität präpariert. Diese Kavitäten wurden mit künstlichem Debris gefüllt und die Wurzelhälften wurden wieder zusammengefügt. Die Zähne wurden in jeder der drei experimentellen Gruppen eingesetzt, woraus eine mehrmalige Benutzung resultierte. Es erfolgte eine Spülung mit 2 ml 1%igem NaOCl mit Hilfe der manuellen Technik (Gruppe 1), einer ultraschallaktivierten Spülung (Gruppe 2) und mit dem Vibringe-System (Gruppe 3). Die Zahnhälften wurden wieder getrennt und mit einem 4-stufigen Scoresystem von zwei Untersuchern ausgewertet. Die Ergebnisse wurden mit einem statistischen longitudinalen 3-faktoriellen Design für die Faktoren Zahnhälfte (apikales und koronales Wurzelkanaldrittel), Gruppe (Handspülung, ultraschallaktivierte Spülung, Vibringe-System) und Untersucher („reader“) ausgewertet. Außerdem wurden Paarvergleiche der Gruppen erstellt. Diese Ergebnisse wurden für das apikale und koronale Kanaldrittel gemeinsam und nach dem jeweiligen Kanaldrittel getrennt untersucht.

Ergebnis: Die ultraschallaktivierte Spülung entfernte Debris sowohl im apikalen als auch im koronalen Kanaldrittel signifikant besser als die Handspülung und das Vibringe-System ($p = 0,0001$). Das Vibringe-System zeigte sich im Vergleich zur Handspülung in der apikalen Zahnhälfte signifikant überlegen ($p = 0,0124$). Im koronalen Kanaldrittel lag kein signifikanter Unterschied zwischen der Handspülung und dem Vibringe-System vor ($p = 1$). Das koronale und apikale Kanaldrittel unterschieden sich bei der ultraschallaktivierten Spülung nicht signifikant voneinander ($p = 0,1598$).

Schlussfolgerung: Die ultraschallaktivierte Spülung entfernte Debris signifikant effektiver als die Handspülung und das Vibringe-System. In der apikalen Zahn-

hälfte schnitt das Vibringe-Systems signifikant besser als die Handspülung ab.

11. Literaturverzeichnis

Abbott PV, Heijkoop PS, Cardaci SC, Humme WR, Heithersay GS (1991):
An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonic.
Int Endod J 24, 308-316

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

Ahmad M (1990):
Measurements of temperature generated by ultrasonic file in vitro.
Endod Dent Traumatol 6, 230-231

Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA (1987):
Ultrasonic debridement of root canals: Acoustic streaming and its possible role.
J Endod 14, 490-499

Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ (1988):
Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance.
J Endod 14, 486-493

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

Ari H, Erdemir A (2005):
Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique.
J Endod 31, 187-189

Athanassias 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

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, Georgi M, Schäfer E, Petschelt A, Flachsenberg S, Neuber T, Kockapan C, Weiger R, Hülsmann M (2006):

Wurzelkanalspülung

Stellungnahme der DGZMK.

Zahnärztl Mitt 96, 51-52

Basrani B, Santos JM, Tjäderhane L, Grad H, Gorduysus O, Huang J,

Lawrence HP, Friedman S (2002):

Substantive antimicrobial activity in chlorhexidine-treated human root dentine.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94, 240-245

Basrani B, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A (2007):

Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate.

J Endod 33, 966-969

Baugh D, Wallace J (2005):

The role of apical instrumentation in root canal treatment: A review of the literature.

J Endod 31, 333-340

Baumgartner JC, Mader CL (1987):

A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens.

J Endod 13, 147-157

Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD (1984):
A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using
saline, sodium hypochlorite and citric acid.
J Endod 10, 525-531

Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E (2009):
Irrigant flow with a prepared root canal using various flow rates: a Computa-
tional Fluid Dynamics study.
Int Endod J 42, 144-155

Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, van der Sluis LWM (2010):
Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Compu-
tational Fluid Dynamics model using high-speed imaging.
Int Endod J 43, 393-403

Brandt M, Stiefel A, Schaller HG (2001):
Wirkung von Spüllösungen für die endodontische Behandlung.
Zahnärztl Welt/Reform 110, 74-77

Brännström M, Nyborg H (1973):
Cavity treatment with a microbicidal fluoride solution. Growth of bacteria and
effect on the pulp.
J Prosth Dent 30, 303-310

Byström A, Sundqvist G (1981):
Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumenta-
tion 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 endo-
dontic therapy.
Int Endod J 18, 35-40

Çalt S, Serper A (2002):

Time-dependent effects of EDTA on dentin structures.

J Endod 28, 17-19

Cameron JA (1987):

The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: A scanning electron microscope evaluation.

J Endod 13, 541-545

Carrotte P (2004):

Calcium hydroxide, root resorption, endo-perio lesions.

Br Dent J 197, 735-743

Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi M, Holz J (1987):

The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation.

Int Endod J 20, 228

Cheung GSP, Stock CJR (1993):

In vitro cleaning ability of root canals irrigant with and without endosonics.

Int Endod J 26, 334-343

Chhabra RS, Thompson M, Elwell MR, Gerken DK (1990):

Toxicity of p-chloroaniline in rats and mice.

Food Chem Toxicol 28, 717-722

Chhabra RS, Huff JE, Haseman JK, Elwell MR, Peters AC (1991):

Carcinogenicity of p-chloroaniline in rats and mice.

Food Chem Toxicol 29, 119-124

Chow TW (1982):

Mechanical effectiveness of root canal irrigation.

J Endod 9, 475-479

Cunningham WT, Balekjian AY (1980):

Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite as endodontic irrigant.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 49, 175-177

Cunningham WT, Joseph SW (1980):

Effect of temperature on the bacterial action of sodium hypochlorite endodontic irrigant.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 50, 569-571

Cunningham WT, Martin H (1982):

A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53, 527

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

Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53, 401-404

Dalton BC, Orstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M (1998):

Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation.

J Endod 24, 763-767

Dammaschke T (1999):

Natriumhypochlorit- Eine Übersicht.

Endodontie 1, 9-19

Davies RM, Schiott CR, Løe H (1973):

Streptococci isolated from plaque in subjects rinsing with chlorhexidine.

Arch Oral Biol 18, 297-299

De-Deus G, Paciornik S, Mauricio MH, Prioli R (2008):

Real-time atomic force microscopy of root dentine during demineralization when subjected to chelating agents.

Int Endod J 39, 683-692

Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE (1994):
Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer.
J Endod 20, 78-82

Druttman AC, Stock CJ (1989):
An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant re-
placement.
Int Endod J 22, 174-178

Dynes JJ, Lawrence JR, Korber KR, Swerhone GD, Leppard GG, Hitchcock AP
(2006):
Quantitative mapping of chlorhexidine in natural river biofilms.
Sci Total Environ 369, 369-386

Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S (2005):
Effect of EDTA and citric acid solutions on the microhardness and the rough-
ness of human root canal dentin.
J Endod 31, 107-110

ESE (2006):
Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European
Society of Endodontology.
Int Endod J 39, 921-930

Falk KW, Sedgley CM (2005):
The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irri-
gation in vitro.
J Endod 31, 742-745

Foster KH, Kulild JC, Weller RN (1993):
Effect of smear layer removal on the diffusion of calcium hydroxide through
radicular dentin.
J Endod 19, 136-140

Galvan DA, Ciarlone AE, Pashley DH, Kulild JC, Primack PD, Simpson MD (1994):
Effect of smear layer removal on the diffusion permeability of human roots.
J Endod 20, 83-86

Georgopoulou M, Kontakiotis E, Nakou M (1994):
Evaluation of the antimicrobial effectiveness of citric acid and sodium hypochlorite on the anaerobic flora of the infected root canal
Int Endod J 27, 139-143

Goldman LB, Goldman M, Kronman H, Sun Lin P (1981):
The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: A scanning electron microscopic study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 52, 197-204

Gomes BP, Souza SF, Ferraz CC, Teixeira FB, Zaia AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ (2003):
Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro.
Int Endod J 36, 267-275

González-López S, Camejo-Aguilar D, Sanchez P, Bolanos-Carmona V (2006):
Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA.
J Endod 32, 781-784

Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M (2003):
Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions.
Int Endod J 36, 411-415

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

Gwinnett AJ (1984):
Smear layer: morphological considerations.
Oper Dent 3, Suppl., 2-12

Haapasalo HK, Siren EK, Waltimo TK, Ørstavik D, Haapasalo M (2000):
Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study.
J Endod 33, 126-131

Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coli J (2005):
Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions.
Endodontic Topics 10, 77-102

Haidet J, Reader A, Beck M, Meyers W (1989):
An in vivo comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic
technique in human mandibular molars.
J Endod 15, 195-199

Haznedaroglu F (2003):
Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear
layer removal.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96, 340-344

Hennequin M, Pajot J, Avignant D (1994):
Effects of different pH values of citric acid solution on the calcium and phos-
phorus content of human dentin.
J Endod 20, 551-554

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

Huang TY, Gualabivala K, Ng YL (2008):
A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimen-
sions and irrigation variables on the efficacy of irrigation.
Int Endod J 41, 60-71

Hugo WB, Longworth AR (1966):

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

Pharm Pharmacol 18, 569-578

Hülsmann M (1993):

Methods for removing metal obstructions from the root canal.

Endod Dent Traumatol 6, 223-237

Hülsmann M:

Die Aufbereitung des Wurzelkanals;

in: Endodontie; hrsg. v. Heidemann D

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

Hülsmann M:

Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten-eine Bilanz;

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

hrsg. v. Hülsmann M

Quintessenz Verlag, Berlin 2002, 11-34

Hülsmann M (2006):

Die Desinfektion des endodontischen Systems.

Endodontie 15, 147-168

Hülsmann M, Heckendorf M (2002):

Comparative evaluation of three chelator pastes.

Int Endod J 35, 668-679

Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F (1997):

Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instrumentation.

J Endod 23, 301-306

Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A (2003):
Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indication for their use.

Int Endod J 36, 810-830

Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH (2005):
Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means.
Endodontic Topics 10, 30-76

Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E (1998):
Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite.

Int Endod J 31, 242-250

Jeansonne MJ, White RR (1994):
A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants.

J Endod 20, 276-278

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 LM, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LW (2010):
Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in root canal.

J Endod 36, 143-146

Kahn FH, Rosenberg PA, Geiksberg J (1995):
An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic handpieces and irrigating needles and probes.

J Endod 21, 277-280

Kenee DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichols BK (2006):
A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques.

J Endod 32, 563-565

Koçkapan C (1986):

Oberflächenstruktur der Kanalwand nach Aufbereitung mit vibrierenden Instrumenten.

Dtsch Zahnärztl Z 41, 778

Koçkapan C (1987):

Elektromikroskopische Untersuchungen über die Struktur der Schmierschicht.

Dtsch Zahnärztl Z 42, 1028

Krishnamurthy S, Sudhakaran S (2010):

Evaluation and prevention of the precipitate formed on interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine.

J Endod 36, 1154-1157

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

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

The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals.

Int Endod J 37, 607-612

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

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

Int Endod J 37, 672-678

Leighton TG:

The acoustic bubble

New York: Academic Press 1994, Chapter 1 and 2

Lin YH, Mickel AK, Chogle S (2003):

Effectiveness of selected materials against *Enterococcus faecalis*. Part 3: The antibacterial effect of calcium hydroxide and chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*.

J Endod 29, 565-566

Löst C, Wesselink PR, Winkler R. (1992):

Grundlagen und Prinzipien der modernen Endodontie.

Endodontie 1, 7-18

Love RM (1996):

Adherence of *Streptococcus Gordonii* to smeared and nonsmeared dentine.

Int Endod J 29, 108-112

Lumley PJ, Walmsley AD, Laird WRE (1991):

Streaming patterns produced around endosonic files.

Int Endod J 24, 290-297

Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW (1993):

Cleaning of oval canals using ultrasonic or sonic instrumentation.

J Endod 19, 453-457

Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP (2004):

Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate.

Int Endod J 37, 365-369

Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD (1984):
Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls.

J Endod 10, 447-483

Marending M, Zehnder M (2007):
Die Beeinflussung der mechanischen Dentineigenschaften durch die chemische Wurzelkanalaufbereitung.

Endodontie 16, 333-346

Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Phalaghias G (1997):
Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol sealers: A potential clinical problem.

J Endod 23, 43-48

Marshall GW, Balooch M, Kinnley JH, Marshall SJ (1995):
Atomic force microscopy of conditioning agents on dentin.

J Biomed Mater Res 29, 1381-1287

Martin H (1976):
Ultrasonic disinfection of the root canal.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 42, 92-99

McComb D, Smith DC (1975):
A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures.

J Endod 1, 238-242

Moorer WR, Wesselink PR (1982):
Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite.

Int Endod J 15, 187-196

Munley PJ, Goodell GG (2007):
Comparison of passive ultrasonic debridement between fluted and nonfluted instruments in root canals.

J Endod 33, 578-580

Naenni N, Thomas K, Zehnder M (2004):

Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants.

J Endod 30, 785-787

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

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

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

Int End J 41, 6-31

Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H (2002):

A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions.

Int Endod J 35, 934-939

Nygaard-Østby B (1957):

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

Odontologisk Tidsskrift 65, 3-11

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

Passarinho-Neto JG, Marchesan MA, Ferreira RB, Silva RG, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto MD (2006):

In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation.

Aust Endod J 32, 123-128

Patterson SS (1963):

In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetraacetate on human dentine and its endodontic implications.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 18, 83

Peters OA (2004):

Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review.

J Endod 30, 559-567

Peters OA, Barbakow F (2000):

Effect of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: A scanning electronmicroscopic study.

J Endod 26, 6-10

Petschelt A, Oberschachtsiek H (1985):

Über die Schmierschicht („smear layer“) nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung).

Dtsch Zahnärztl Z 40, 845

Petschelt A, Stumpf B, Raab W (1987):

Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht („smear layer“).

Dtsch Zahnärztl Z 42, 743

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

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

Int Endod J 34, 184-188

Portenier I, Haapasalo H, Ørstavik D, Yamauchi M, Haapasalo M (2002):

Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against Enterococcus faecalis by dentin, dentin matrix, type-I-collagen, and heat-killed microbial whole cells.

J Endod 28, 634-637

Pörtzel E, Petschelt A (1986):
Bacteria in the root canal wall of gangrenous pulp.
Dtsch Zahnärztl Z 41, 772-777

Ram Z (1977):
Effectiveness of root canal irrigation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 44, 306-312

Ringen AM, Patterson SS, Newton CW, Miller CH, Mulhern JM (1982):
In vivo evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants.
J Endod 8, 200-204

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

Rödig T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M (2010b):
Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals.
Int Endod J 43, 519-527

Rølla G, Løe H, Rindom Schiøtt C (1970):
The affinity of chlorhexidine for hydroxylapatite and salivary mucins.
J Periodont Res 5, 90-95

Rollinson S, Barnett F, Stevens RH (2001):
Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94, 366-371

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 shortterm sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals.

J Endod 29, 674-678

Safavi KE, Spångberg LSW (2006):

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

Endodontie 15, 171-176

Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D (2008):

Bacterial penetration along different root canal filling materials in the presence or absence of smear layer.

Int Endod J 41, 32-40

Saunders WP, Saunders EM (1994):

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

Endod Dent Traumatol 10, 105-108

Scelza MF, Antoniazzi JH, Scelza P (2000):

Efficacy of final irrigation – a scanning electron microscopic evaluation.

J Endod 26, 355-358

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

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

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

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

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

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

Schäfer E:

Struktur der Pulpa und ihre Erkrankungen; in: Endodontie; hrsg. v.

Heidemann D

Urban & Fischer, München/Jena 2001, 2-23

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

Shaharavan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F (2007):

Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis.

J Endod 33, 96-105

Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR (2006):

Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: a two-month longitudinal ex vivo study.

Int Endod J 39, 968-976

Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M (2005):

Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or Resilon.

J Endod 31, 91-96

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

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

J Endod 25, 332-335

Sirtes G, Waltimo T, Schätzle 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, Sundqvist G (1987):

Bacteriologic evaluation of ultrasonic root canal instrumentation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 63, 366-370

Smith J, Wayman B (1986):

An evaluation of the antimicrobial effectiveness of citric acid as a root canal irrigant.

J Endod 12, 54-58

Spångberg L:

Intracanal medicaments;

in: Smith DC, Williams DF (Hrsg.). Biocompatibility of Dental Materials. Vol. III.

CRC-Press, Boca-Raton 1982, 213-257

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

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

Br Dent J 202, 555-559

Spoleti P, Siragusa M, Spoleti MJ (2003):

Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation.

J Endod 29, 12-14

Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K (2001):

An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates.

Int Endod J 34, 300-307

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

Stock CJR (1991):

Current status of the use of ultrasound in endodontics.

Int Dent J 41, 175-182

Taylor JK, Jeanson BG, Lemon RR (1997):
Coronal leakage: effect of smear layer, obturation techniques and sealer.
J Endod 23, 508-512

Thung BB, Baumgartner JC, Mitchell JC (2008):
Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine
gluconate and its effect on root dentin.
J Endod 34, 181-185

Tilton JN (1999):
Fluid and particle dynamics.
In: Perry RH, Green DW, Maloney JO, eds. Perry's chemical engineer's hand-
book.
7th ed. New York: McGraw-Hill 1999, 1-50

Torabinejad M, Handysides R, Khademi A, Bakland LK (2002):
Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94, 658-666

Torabinejad M, Cho Y, Khademi AA, Bakland LK, Shabahang S (2003a):
The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of
MTAD to remove the smear layer.
J Endod 29, 233-239

Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J,
Shabahang S (2003b):
A new solution for the removal of the smear layer.
J Endod 29, 170-175

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

van der Sluis LW (2006):

Die passive Ultraschallspülung des Wurzelkanalsystems.

Endodontie 15, 177-185

van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR (2005a):

A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation.

Int Endod J 38, 593-596

van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR (2005b):

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

Int Endod J 38, 764-768

van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR (2006):

The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation.

Int Endod J 39, 472-476

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

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

Int Endod J 40, 415-426

van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR (2009):

Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal.

Quintessence Int 40, 875-879

van der Visse JE, Brillant D (1975):

Effect of irrigation on the production of extruded material at the root apex during instrumentation.

J Endod 1, 243

Violich DR, Chandler NP (2010):

The smear layer in endodontics - a review.

Int Endod J 43, 2-15

Waltimo T (2006):

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

Endodontie 15, 123-134

Wandelt S (1961):

Eine kritische Betrachtung zur Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Komplexbildnern.

Dtsch Zahnärztl Z 16, 81-86

Weinreb MH, Meier E (1965):

The relative efficiency of EDTA, sulfuric acid and mechanical instrumentation in the enlargement of root canals.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 19, 247

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

Residual antimicrobial activity after canal irrigation with chlorhexidine.

J Endod 23, 229-231

Wu MK, Wesselink PR (1995):

Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 79, 492-496

Wu MK, Wesselink PR (2001):

A primary observation on the preparation and obturation of oval canals.

Int Endod J 34, 137-141

Yamada RS, Armas A, Goldman M, Sun Lin P (1983):
A scanning electron microscopic investigation of several irrigating solutions:
Part 3.
J Endod 9, 137-142

Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H (1996):
Root canal irrigation with citric acid solution.
J Endod 22, 27-29

Zamany A, Safavi KE, Spångberg LSW (2003):
The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfection.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 95, 578-581

Zehnder M (2006):
Root canal irrigants.
J Endod 32, 389-398

Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T (2002):
Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered
hypochlorite solution.
Oral Surg Oral Med Oral Paathol Oral Radiol Endod 94, 756-762

Zehnder M, Lehnert B, Schönenberger K, Waltimo T (2003):
Spüllösungen und medikamentöse Einlagen in der Endodontie.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 113, 756-763

Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T (2005):
Chelation in root canal therapy reconsidered.
J Endod 31, 817-820

11. Abbildungsnachweis

Abbildung	Seite
Abb. 1	17
Abb. 2	18
Abb. 3	18
Abb. 4	19
Abb. 5	20
Abb. 6	20
Abb. 7	21
Abb. 8	22
Abb. 9	23
Abb. 10 (a-d)	23,24
Abb. 11	28
Abb. 12	29
Abb. 13	30
Abb. 14	30
Abb. 15	32

12. Tabellennachweis

Tabelle	Seite
Tab. 1	16
Tab. 2	26
Tab. 3	26
Tab. 4	26
Tab. 5	27
Tab. 6	28
Tab. 7	28
Tab. 8	29
Tab. 9	30
Tab. 10	31

13. Materialliste

Hedströmfeile	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Diamantierte Trennscheibe	Horico, Berlin, Deutschland
Wachsmesser	Aesculap, Tuttlingen, Deutschland
Ultraschallgerät	Piezon Master- 400, EMS Nyon, Schweiz
MOTIC Ergonomic Trinocular Zoom Stereo Mikroskop	Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland
Moticam 1300 Digitalkamera	Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland
Palavit®	Heraeus, Wehrheim, Deutschland
NaviTip™-Spülnadel	Ultradent, South Jordan, UT, USA
Natriumhypochlorit	Apotheke der Universitätsmedizin Göttingen
Silaplast®	Dentax GmbH & Co. KG, Ettlingen, Deutschland
Vaseline	Favodent Karl Huber GmbH, Karlsruhe, Deutschland
Vibringe®	Vibringe B.V., Amsterdam, Niederlande
Debris	Frisch angemischt aus 100 mg Dentinspänen und 0,175 ml 1%ige NaOCl-Lösung

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Hülsmann für die Möglichkeit, in seinem Arbeitskreis meine Promotionsarbeit anfertigen zu dürfen. Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Rödiger, die mich bei der Durchführung der Arbeit sowie der Erstellung der Dissertationsschrift betreute, mir in allen fachlichen Fragen stets zur Seite stand und vor allem für die geduldige Korrektur des Manuskripts. Weiterhin danke ich Herrn Konietschke, aus der Abteilung Medizinische Statistik der Georg-August-Universität Göttingen, für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse.