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

Vergleich der Wirkung unterschiedlicher endodontischer Spül- und Reinigungssysteme (Handspülung, Ultraschall, EndoActivator®, CanalBrush®) auf die Sauberkeit präparierter Wurzelkanalwände

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Stefan Döllmann

aus

Heiligenstadt

Göttingen 2010

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

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

II. Berichterstatter/in:

III. Berichterstatter/in:

Tag der mündlichen Prüfung:

1 Einleitung ... 5
2 Literaturüberblick ... 7
2.1 Desinfektion des Endodontes ... 7
2.2 Wurzelkanalaufbereitung ... 8
2.3 Die Schmierschicht (Smear Layer) ... 9
2.4 Wurzelkanalspülung ... 12
2.4.1 Spültechnik ... 13
2.5 Verwendete Agenzien ... 14
2.5.1 Natriumhypochlorit ... 14
2.5.2 Chlorhexidin ... 15
2.5.3 Chelatoren ... 16
2.5.3.1 Ethylendiamintetraessigsäure ... 17
2.5.3.2 Zitronensäure ... 18
2.5.4 Aktivierung der Spülflüssigkeiten ... 19
2.5.4.1 Erwärmung ... 20
2.5.4.2 Mechanische Aktivierung (CanalBrush) ... 20
2.5.4.3 Schallaktivierung (EndoActivator) ... 20
2.5.4.4 Ultraschallaktivierung ... 21
2.5.4.5 Hydrodynamisch ... 22
2.5.4.5.1 Nicht instrumentierende Technik ... 22
2.5.4.5.2 RinsEndo® ... 23
2.6 Methoden zur Untersuchung der Schmierschicht ... 24
3 Zielstellung ... 26
4 Material und Methode ... 27
4.1 Vorauswahl des Untersuchungsmateriales ... 27
4.1.1 Evaluierung: Bestimmung der Wurzelkrümmung ... 28
4.2 Präparation der Zähne ... 29
4.3 Verwendete Aktivierungsgeräte ... 30
4.3.1 Ultraschall ... 30
4.3.2 EndoActivator® ... 30
4.3.3 CanalBrush® ... 30
4.4 Versuchsaufbau ... 31
4.5 Versuchsgruppen ... 31
4.6 Aufbereitung der Präparate zur Auswertung unter dem Rasterelektronenmikroskop ... 36
4.7 Statistische Auswertung ... 43
5 Ergebnisse ... 44
5.1 Reinigungswirkung Debris ... 44
5.2 Reinigungswirkung Smear Layer ... 50
5.3 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 1 – Hand-Spülung ... 55
5.3.1 Debris ... 55
5.3.2 Smear Layer ... 56
5.4 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 2 - Ultraschallaktivierung ... 57
5.4.1 Debris ... 57
5.4.2 Smear Layer ... 58
5.5 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 3 - EndoActivator ... 59
5.5.1 Debris ... 59
5.5.2 Smear Layer ... 60
5.6 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 4 - CanalBrush ... 61
5.6.1 Debris ... 61
5.6.2 Smear Layer ... 62

5.7 Statistik ... 63
6 Diskussion ... 66
6.1 Herstellung der Präparate ... 66
6.2 REM-Auswertung der Proben ... 69
6.3 Diskussion der Ergebnisse ... 70
6.3.1 Reinigungswirkung der Handspülung ... 72
6.3.2 Reinigungswirkung der passiven Ultraschallspülung (PUI) ... 73
6.3.3 Reinigungswirkung der EndoActivator Aktivierung ... 74
6.3.4 Reinigungswirkung der CanalBrush ... 76
7 Zusammenfassung ... 78
8 Anhang ... 80
Herstellerverzeichnis ... 80
Tabellen ... 81
Krümmungswinkeltabelle ... 81
Aufbereitungsprotokoll ... 82
Ergebnisse ... 88
Bilder ... 92
Krümmungswinkel ... 92
Gruppe I ... 92
Gruppe II ... 95
Gruppe III ... 98
Gruppe IV ... 101
9 Literaturverzeichnis ... 104

1 Einleitung

Die Zahnerhaltung ist das wesentliche Ziel der konservierenden und chirurgischen Tätigkeit des Zahnarztes. Dabei ist es immer wieder notwendig, Defekte in der Nähe der Pulpa zu behandeln. Die klinische Einschätzung des Entzündungsgrades der Pulpa ist bei diesen profunden Läsionen schwierig. Ist diese bereits irreversibel entzündet und bakteriell kontaminiert oder purulent, ist es in der Regel notwendig, die Pulpa oder das bereits nekrotische Gewebe zu entfernen. Ziel ist dann, mittels einer Wurzelbehandlung den Zahn langfristig als funktionsfähige Kaueinheit zu erhalten.

Die Anatomie der Zahnwurzel und der Strukturaufbau des Zahnhalteapparates, des Parodonts, sind von besonderer Bedeutung für die Wurzelbehandlung. Diese wird als komplexes endodontisches System erstmals vollständig von Hess (1917) sowie später von Meyer (1970) dargestellt.

Die zahlreichen Verzweigungen und anatomischen Unregelmäßigkeiten sowie die offenen Dentintubuli bieten ideale Überlebensbedingungen für Bakterien. Eine zu große Anzahl von Toxinen und Bakterien im Wurzelkanalsystem führt zu einem chronischen, unter bestimmten Bedingungen akuten periradikulären Entzündungsprozess oder verhindert dessen Heilung. Daher ist gründliche mechanische und chemische Aufbereitung und Reinigung des komplexen Wurzelkanalsystems Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Wurzelbehandlung.

In zahlreichen Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Prognose von Zähnen mit nicht infizierten Wurzelkanälen erheblich besser ausfällt als bei Vorliegen einer bakteriellen Kontamination des Endodontes (Friedman et al. 1995, Imura et al. 2007).

Zur Reinigung des Hauptwurzelkanals nutzt man die mechanische Erweiterung und die Spülung mit antibakteriellen Lösungen verschiedenster Art. Man spricht von einer

chemo-mechanischen Präparation, bei der der Spülung des Hauptwurzelkanals im Wesentlichen die folgenden Aufgaben zukommen:

- Auflösung vitalen und nekrotischen Gewebes
- Antibakterielle Wirkung
- Ausschwemmung des Debris (Gewebereste und Dentinspäne)
- Neutralisation der Bakterientoxine im Dentin
- Erhöhung der Gleitfähigkeit der Wurzelkanalinstrumente (Schäfer 2007, Zehnder 2006)

Aufgrund der unregelmäßigen Anatomie des Pulpa-Dentin-Systems ist es nicht zu vermeiden, dass nekrotisches Gewebe, Schmierschicht oder Bakterien in Seitenkanälchen und apikalen Ramifikationen, aber auch auf den Wänden des Hauptkanals zurückbleiben. Daher hat man Techniken entwickelt, um die Reinigungswirkung der Spüllösungen zu erhöhen. Die Erhöhung der Wirksamkeit geschieht auf verschiedenen Wegen, z. B. über die Erwärmung, die Schall-/Ultraschallaktivierung oder die mechanische Bewegung der Flüssigkeit.

Das Ziel der vorliegenden Studie war, die Effektivität der Aktivierung der Abschlussspülung mit Hilfe neuer Techniken, dem EndoActivator® (Advanced Endodontics, Santa Barbara, USA) und der CanalBrush® (Roeko, Langenau) mit der manuellen Spülung und der Ultraschall - aktivierten Abschlussspülung am mesio-bukkalen Kanal unterer Molaren zu vergleichen.

2 Literaturüberblick

2.1 Desinfektion des Endodontes

Die Infektionskontrolle im Endodont ist das Ziel der Wurzelbehandlung infizierter Zähne. Nach abgeschlossener Therapie soll ein keimfreier oder ausreichend keimarmer Zahn als kaufunktionelle Einheit erhalten bleiben, eine periradikuläre Läsion soll heilen oder deren Entstehung verhindert werden (Schäfer 2007).

Um die erwünschte Keimfreiheit bzw. Keimarmut zu erreichen, ist ein aseptisches oder antiseptisches Therapiekonzept notwendig. War die Pulpa entzündet, aber noch nicht infiziert, muss jeder Keimzutritt vermieden werden (Asepsis), lag bereits eine infizierte Pulpanekrose vor, muss die Keimanzahl, soweit wie möglich, reduziert werden (Antisepsis). Asepsis ist durch die Einhaltung steriler Rahmenbedingungen während und zwischen den Behandlungssitzungen zu erreichen. So bedingt das Konzept unter anderem die Verwendung von Kofferdamm und sterilen Arbeitsinstrumenten (Hülsmann 1997).

Die Präparation mittels mechanischer Erweiterung und Entfernung des infizierten Dentins kann diese Aufgabe der Keimreduktion allein nicht leisten. Die Keimzahl kann um den Faktor 100 - 1000 reduziert werden. Es verbleibt aber dennoch ein mit pathogenen Mikroorganismen kontaminiertes Dentin (Dalton et al. 1998, Evans et al. 2002, Falk und Sedgley 2005, Horiba et al. 1991, Shuping et al. 2000).

Es werden daher zusätzlich wirksame desinfizierende Substanzen benötigt, die eine Reduktion der Zahl der Mikroorganismen bis unterhalb der pathogenen Schwelle ermöglichen. Die verwendeten Spüllösungen werden unter Punkt 2.5 beschrieben.

2.2 Wurzelkanalaufbereitung

Das Ziel der Aufbereitung des Hauptwurzelkanals sollte ein erweiterter, der ursprünglichen Kanalform gleichender, gut mit biologisch inertem Material verschließbarer Hohlraum sein. Hierzu bedient man sich der mechanischen Erweiterung des Kanals. Die Spülung mit verschiedenen Lösungen erfolgt zur Ausschwemmung der Dentinspäne und zur Desinfektion und Reinigung des infizierten Zahnhartgewebes. Der Vorgang wird unter dem Begriff der „chemo-mechanischen Präparation“ (Hülsmann 2006) zusammengefasst.

Bei der Aufbereitung des Hauptwurzelkanals bildet die Anatomie die Grundlage für die Eröffnung, Erweiterung und den Verschluss des Zahnes. Imura et al. (2007) zeigten in einer rückblickenden Studie auf, dass der Behandlungserfolg von der Anatomie und dem Alter des Zahnes abhängt.

Die Morphologie wurde in ihrer Komplexität unter anderem von Hess (1917) und Meyer (1970) dargestellt. Es wird deutlich, dass durch Materialabtrag im Hauptwurzelkanal das Endodont immer nur unvollständig bearbeitet werden kann und zahlreiche der bakteriellen Kontamination zugängliche Retentionsnischen nicht erreicht werden können. So wird nur die Hälfte der Bakterien nach Aufbereitung und Spülung mit Natriumhypochlorit eliminiert (Byström und Sundqvist 1983, Shuping et al. 2000).

So stellten Cheung und Stock (1993) fest, dass jeder Wurzelkanal nach der Instrumentierung nicht instrumentierte Bereiche aufweist. Mayer et al. (2002) zeigten, dass sowohl mit Nickel-Titan-Systemen als auch manuell instrumentierte Kanalwände teilweise bis zu 50 % durch instrumentelle Bearbeitung nicht erreichte Wandbereiche aufweisen. Horiba et al. (1991) zeigten anhand von 30 Fällen, dass eine Korrelation zwischen der Menge an Endotoxinen, Bakterien, klinischen Symptomen und eventuell auftretenden apikalen Läsionen besteht.

Besondere Bedeutung kommt der Desinfektion des apikalen Wurzelabschnitts zu. Aufgrund des geringen Durchmessers und der dadurch schlechten Zugänglichkeit für

die desinfizierenden Spüllösungen ist diesem Teil der Wurzel zusätzliche Aufmerksamkeit zu widmen. Ram (1977) berichtete, dass eine apikale Aufbereitung bis zur ISO-Größe 40 notwendig ist, um die Spüllösung effektiv in die apikale Region applizieren zu können. Andere Autoren kommen zu der Ansicht, dass die apikale Erweiterung bis zur ISO-Größe 25 ausreicht, wenn koronal weiter aufbereitet wird (Abou-Rass und Piccinino 1982, Hsieh et al. 2007, McGurkin-Smith et al. 2005). Albrecht et al. (2004) stellten fest, dass es bei einer Aufbereitung bis Taper 10 keinen Unterschied macht, ob man bis ISO 20 oder ISO 40 erweitert. Generell ist eine weitere Aufbereitung in der apikalen Region vorzuziehen (Rollison et al. 2002). Aufgrund der unzureichenden Flexibilität der Aufbereitungsinstrumente, insbesondere der herkömmlichen Edelstahlinstrumente ist die Aufbereitungsgröße limitiert (Hülsmann et al. 2003b). Eine Überlegenheit der flexibleren NiTi-Instrumente wurde von Bechelli et al. (1999) nicht nachgewiesen.

2.3 Die Schmierschicht (Smear Layer)

Bei jeglicher Präparation von Schmelz- oder Dentinoberflächen entsteht eine durch den Materialabtrag bedingte Schmierschicht. Aus spanender oder schleifender Bearbeitung resultiert eine Schicht, welche teilweise der bearbeiteten Oberfläche, dem Wurzeldentin, aufliegt und teilweise in die Dentintubuli hineingepresst ist. Dieser Feilungsstaub bildet die Schmierschicht (Khedmat und Shokouhinejad 2008, Kockapan 1986, McComb und Smith 1975). Sie tritt nicht in unbearbeiteten Bereichen der Wurzelkanalwand auf (Mader et al. 1984).

Die Schmierschicht ist ca. 2 - 5 µm dick und enthält sowohl organische als auch anorganische Bestandteile (Goldman M et al. 1982, McComb und Smith 1975). Anorganische Bestandteile sind Dentin und Prädentin, als Molekül Hydroxylapatit (Dorozhkin und Epple 2002). Die organischen Bestandteile bestehen aus Resten von pulpalem Gewebe, Odontoblastenfortsätzen und bei infizierter Pulpa aus Bakterien (Torabinejad et al. 2002).

Bei starker Vergrößerung im Längsschliff kann man einen oberflächlich aufliegenden und einen in die Dentintubuli hineingepressten Anteil der Schmierschicht erkennen. Der hineingepresste Anteil kann bis zu 40 µm tief in die Dentintubuli hineinreichen (Mader et al. 1984).

Im Smear Layer können Bakterien oder Endotoxine verbleiben und in das Dentin eindringen, obwohl eine gründliche chemo-mechanische Präparation durchgeführt wurde (Shovelton 1964). Diese Bakterien können nicht nur in der Schmierschicht verbleiben, sondern sich dort vermehren (Meryon und Brook 1990) und das endodontische System besiedeln. Zusätzlich kann der antimikrobielle Effekt der verwendeten Agenzien durch die Schmierschicht verhindert werden (Baumgartner und Mader 1987, Goldberg und Abramovich 1977, Yamada et al. 1983).

Bei der Wurzelkanalfüllung kann der Sealer nach Entfernung der Schmierschicht deutlich besser in die Dentintubuli eindringen (Kokkas et al. 2004, Okşan et al. 1993). Studien belegen, dass die Durchlässigkeit der Wurzelfüllung nach erfolgreicher Schmierschichtentfernung deutlich reduziert ist (Cergneux et al. 1987, Kennedy et al. 1986). Andere Untersuchungen zeigten keinen signifikanten Unterschied (Madison und Krell 1984).

Die Ansichten zur Entfernung der Schmierschicht fallen widersprüchlich aus. So meinen einige Autoren, dass es wichtig sei, die Schmierschicht zu entfernen (Zehnder et al. 2005), weil sie auf präparierten Flächen liegt und somit das Eindringen von Medikamenten und Wurzelfüllmaterialien in die Dentintubuli verhindert. Andere behaupten, die Schmierschicht sollte erhalten bleiben (Timpawat et al. 2001), da sie eine Schutzschicht gegen apikales Mikroleakage bildet und daher eine Isolation gegen das Eindringen von Flüssigkeiten darstellt.

Viele Studien beschäftigten sich mit der Entfernung der Schmierschicht (Aktener et al. 1989, Aktener und Bilkay 1993, Baker Na et al. 1975, Berg et al. 1986, Çalt und Serper 2002, Cergneux et al. 1987, Di Lenarda et al. 2000, Goldberg und Abramovich 1977, Goldman Lb et al. 1981, Goldman M et al. 1982, Hülsmann et al. 2002, Kockapan 1995, Lim et al. 2003, Mader et al. 1984, McComb und Smith 1975,

O'Connell et al. 2000, Petschelt und Oberschachtsiek 1985, Scelza et al. 2000, Şen et al. 1995, Torabinejad et al. 2002, Yamada et al. 1983).

Berg et al. (1986) weisen darauf hin, dass NaOCl 5,25 % und REDTA die am besten geeigneten Substanzen sind, um die Schmierschicht zu entfernen. REDTA ist eine Lösung aus EDTA und Cetrimide (Cetyl-trimethyl ammonium bromid) zur Reduktion der Oberflächenspannung sowie Natriumhydroxid und destilliertem Wasser (Hülsmann et al. 2003a). Die Kombination von EDTA und NaOCl führt dazu, dass freies Chlorid die Kalziumbindungsfähigkeit der Ethylendiamintetraessigsäure geringfügig verringert. Daher sollten die Lösungen in einem alternierenden Spülregime angewendet werden (Grawehr et al. 2003, Hata et al. 2001).

Generell kann man zwischen flüssigen Chelatorpräparaten und pastenförmigen Präparaten unterscheiden. Flüssige Präparate sind zum Beispiel Calcinase (lege artis, Dettenhausen), REDTA (Roth International, Chicago, USA), EDTAC von Pawlicka (Pawlicka et al. 1981, Pawlicka 1982), Largal Ultra (Septodont, Paris, France). Pastenförmige Präparate sind Calcinase slide (lege artis, Dettenhausen), RC-Prep® (Premier Dental, Philadelphia, PA, USA), Glyde file (DeTrey Dentsply, Konstanz), FileGlyde (VDW, München).

Der Durchmesser der Dentintubuli nimmt von der Pulpa zur Schmelz-Zementgrenze hin ab. Die Anzahl der Dentintubuli ist in Pulpanähe gleichzeitig höher (Mjör et al. 2001). Das Wurzeldentin ist nicht gleichmäßig mineralisiert und die Dichte der Dentintubuli nimmt Richtung Apex weiter ab. Nach der Präparation des Hauptwurzelkanals ist das Lumen erweitert und die Wandstärke reduziert. Die Dentinpermeabilität ist indirekt proportional zur Wandstärke, allerdings wirkt die Schmierschicht entgegen und verringert die Permeabilität. Dies ist der Grund, warum manche Autoren vorschlagen, die Schmierschicht zu belassen (Timpawat et al. 2001). Jedoch stellten Cergneux et al. (1987), Petschelt und Oberschachtsiek (1985) und Cohen et al. (1970) fest, dass zwar die Dentindurchlässigkeit mit Entfernung der Schmierschicht steigt, jedoch ein Mikroleakage zwischen Wurzelfüllmaterial und Wurzelkanalwandoberfläche verringert wird. Galvan et al. (1994) stellten keinen Unterschied mit und ohne Smear Layer in der Flüssigkeitsdiffusion fest. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigten, dass die Anwendung von

EDTA die Dentinpermeabilität verbessert (Hottel et al. 1999), was ebenso die Wirksamkeit der angewandten Medikamente erhöht.

2.4 Wurzelkanalspülung

Neben der Erweiterung des Wurzelkanals dient vor allem die chemische Desinfektion des Hauptwurzelkanals, die so genannte Wurzelkanalspülung, dem Ziel die Zahl der Mikroorganismen im Endodont weitest möglich zu reduzieren (van der Sluis et al. 2006, Zehnder 2006).

Bei der Wahl der hierzu verwendeten Spülflüssigkeiten muss immer die Relation zwischen der Wirksamkeit und der Toxizität beachtet werden (Hauman und Love 2003). Keine der vorhandenen Spüllösungen erfüllt gleichzeitig alle Anforderungen an die Biokompatibilität bei gleichzeitiger vollständiger Wirksamkeit gegen sämtliche Pathogene. Daher schlagen moderne Behandlungskonzepte Kombinationen verschiedener Agenzien vor (Baumgartner et al. 2007, Hülsmann 2006, Zehnder 2006). Einige Autoren empfehlen, die Effektivität der Spüllösung durch Anwendung von Ultraschallinstrumenten zu erhöhen (Cunningham und Martin 1982, van der Sluis et al. 2007b).

Besondere Bedeutung kommt der verwendeten Menge an Spülflüssigkeit zu. Das Volumen des Endodontes ist auf wenige Kubikmillimeter begrenzt (Meyer 1970). Eine statische Lösungsapplikation führt zwingend zu einer begrenzten Wirkung. Das Agens ist nach kurzer Zeit verbraucht (Çalt und Serper 2002) und wirkungslos. Die ausschwemmende Wirkung mittels der Agenzien spricht für große Volumina (McGill et al. 2008, van der Sluis et al. 2006) und vermeidet gleichzeitig eine apikale Pfropfbildung aus Geweberesten und Dentinschlamm. Es sollte immer solange gespült werden, bis die ablaufende Flüssigkeit klar ist.

Baker Na et al. (1975) spülten mit 0,5 ml bis 5 ml verschiedener Lösungen und fanden dabei heraus, dass die Entfernung des Debris eine Funktion des Volumens, nicht der Art der Lösung ist. 1982 kamen Abou-Rass und Piccinino zu dem Ergebnis,

dass eine Wechselspülung von 2,5 % NaOCl und H_2O_2 nicht effektiver als eine Spülung mit Leitungswasser oder Anästhesielösung ist. Fasst man verschiedene Studien unter dem Aspekt der Spülmenge zusammen, so stellt man fest, dass die Spülvolumina innerhalb der Studien immer konstant gehalten werden. Die Volumina weichen allerdings zwischen den Untersuchungen erheblich ab. Es finden sich die Spülungen von 0,5 ml (Baker Na et al. 1975) bis hin zu 40 ml (Ahmad et al. 1990).

Die Menge der Spülung ist wichtiger als die Konzentration der Lösung (Baker Na al. 1975, Hülsmann 1997, 2006, Schäfer 2007, van der Sluis et al. 2006). Dies wird insbesondere durch die Tatsache unterstützt, dass die Penetration des Antiseptikums in die Dentintubuli nicht dazu führen muss, dass eine wirksame Konzentration gegen die dort vorhandenen Mikroorganismen erreicht wird (Buck et al. 1999).

Bei der Untersuchung der Wirksamkeit der Ultraschallwirkung auf Bakterien stellten Ahmad et al. (1992) fest, dass NaOCl 2,5 % allein weniger wirksam gegen Streptoccocus mitis ist, als die Spülung mit NaOCl 2,5 % mit passiver Ultraschallaktivierung.

2.4.1 Spültechnik

In der Literatur werden unterschiedliche Techniken zur Applikation der Spüllösungen empfohlen, die sowohl statische wie dynamische Verfahren, die Möglichkeit der Aktivierung einer statischen Lösung, die Anwendung von Schall- oder Ultraschallsystemen, dem Laser, der Erwärmung der Lösung vor dem Spülen sowie die Anwendung hydrodynamischer Techniken (Rins Endo®) umfassen.

Die statische Applikation des Aseptikums wird initial zur Überschwemmung der Pulpakammer empfohlen (Schäfer 2007). Die konventionelle Methode ist eine dynamische Handspülung, bei der möglichst große Volumina zum Einsatz kommen sollten (van der Sluis et al. 2006). Zur dynamischen Handspülung sollten dünne Injektionsnadeln mit Durchmesser von 0,4 bis 0,3 mm und apikal biegsamem Ende eingesetzt werden (Boutisiokis et al. 2007, Hülsmann 2006). Die Wirkung der

dynamischen Handspülung ist bis kurz nach Austritt aus der Nadel begrenzt. Die Nadel sollte immer in maximaler Applikationstiefe eingebracht und dann etwas zurückgezogen werden. Dies vermeidet einen Stau der Spülflüssigkeit und apikales Überpressen (Chow 1983, Ram 1977, Walters et al. 2002). Der Hauptwurzelkanal muss zwingend so weit aufbereitet werden, dass die Spülnadel bis in das apikale Kanaldrittel vordringen kann (Ram 1977). Ein seitlicher Austritt der Spüllösung bringt gegenüber der apikalen Öffnung der Kanüle keine Vorteile. Die Spülung sollte immer ohne Kraft und langsam erfolgen. Dies vermeidet Zwischenfälle durch apikales Überpressen (Hülsmann 2008).

2.5 Verwendete Agenzien

2.5.1 Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit (NaOCl) ist die am häufigsten verwendete Spüllösung und ebenso das anerkannteste Antiseptikum in der Endodontie. Es findet Verwendung in Konzentrationen von 0,5% - 5,25% (Baumgartner und Cuenin 1992).

Chemisch ist Natriumhypochlorit das Natriumsalz der hypochloren Säure Chlorwasserstoff. Der pH-Wert von 5,25%iger Natriumhypochloritlösung liegt bei etwa 12,1.

Natriumhypochlorit löst organisches Material, somit Pulpagewebe und nekrotisches Material (z. B. Pus) auf (Andresen et al. 1992, Gordon et al. 1981, Hand et al. 1978). Es wirkt stark antibakteriell (Fader et al. 1983, Giardino et al. 2007, Harrison et al. 1990, Izu et al. 2004, Rosenfeld et al. 1978) und hat ebenso eine bleichende Wirkung. Natriumhypochlorit hat keine Wirkung auf die anorganischen Komponenten des Dentins (Marending et al. 2007). Die unterchlorige Säure spaltet Sauerstoff ab und die bleichende und desinfizierende Wirkung entsteht durch den freiwerdenden Sauerstoff (Cotter et al. 1985). Die bleichende Wirkung entfaltet Natriumhypochlorit auf organischem Gewebe und auf Textilien. Zusätzlich wirken die freien Hydroxid- und Chloridionen korrosiv. Die Ionen und Moleküle zerfallen durch die Reaktion

miteinander oder mit den umliegenden Stoffen zu Natriumchlorid und Wasser. Die Lösung wird dadurch deaktiviert. Besondere Anforderungen werden damit an die Lagerung und Aufbewahrung gestellt. Die Lösung ist gekühlt und dunkel zu lagern. Sie ist dann mehrere Monate haltbar.

Bei Erwärmung erhöht sich die Wirksamkeit (Abou-Rass und Oglesby 1981, Berutti und Marini 1996, Gambarini et al. 1998, Sirtes et al. 2005) und verringert sich die Lagerungsdauer. Einmal erwärmtes Natriumhypochlorit ist zu verbrauchen, unverbrauchtes und erwärmtes Antiseptikum muss verworfen werden. Baumgartner und Cuenin (1992) zeigten, dass niedrigere Konzentrationen von NaOCl durch mehr Volumen ausgeglichen werden können.

Natriumhypochlorit ist wirkungsvoll zur Entfernung von Debris und zur Desinfektion des Endodontes, kann aber die Schmierschicht nicht auflösen (Baumgartner und Mader 1987, Berutti und Marini 1996). Einige Studien empfehlen die Anwendung von NaOCl kombiniert mit Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) (Abbott et al. 1991, Baumgartner und Mader 1987, Goldman Lb et al. 1982, Lim et al. 2003, Şen et al. 1999, Stewart 1998, Yamada et al. 1983, Yamashita et al. 2003). Die Kombination der Lösungen vergrößert den antibakteriellen Effekt und macht die Spülung wirksamer als die alleinige Anwendung von Natriumhypochlorit oder EDTA.

2.5.2 Chlorhexidin

Chlorhexidindigluconat (CHX) ist ein universelles, wenig toxisches Antiseptikum. Es wird sowohl im Rahmen der Full Mouth-Desinfektion bei der Parodontaltherapie angewendet als auch zur Desinfektion oberflächlicher Hautverletzungen.

Zur Spülung der Wurzelkanäle sollte es in Konzentrationen bis 2 % angewendet werden (Bui et al. 2008, Estrela et al. 2007).

Chlohexidindigluconat verfügt über eine hohe Substantivität, da es eine positiv geladene Gruppe im Molekül trägt. Somit lagert es sich an der Dentinoberfläche an

(Schäfer und Bössmann 2005) und behält seine Wirkung bis zu 48 Stunden bei (Mohammadi und Abbott 2009). Chlorhexidin besitzt eine antibakterielle sowie antifugale Aktivität (Ercan et al. 2004). Die Wirkung von 2 % Chlorhexidindigluconat auf einen Biofilm aus Enterococcus faecalis ist im Vergleich zu Natriumhypochlorit höher (Ringel et al. 1982). Ruff et al. (2006) fanden heraus, dass CHX 2 % und NaOCl 6 % gleich effektiv gegen Pilze wirken. Demgegenüber beschrieben Mohammadi und Abbott (2009), dass Natriumhypochlorit effektiver ist als CHX 1 %; NaOCl inaktiviert 99,78 % aller Bakterien, CHX nur 60,49 %.

Chlorhexidindigluconat besitzt keine gewebeauflösende Wirkung und auch keine Wirkung auf Endotoxine. Es ist daher NaOCl nicht überlegen (Şen et al. 1999), wirkt aber insbesondere auf Enterococcus faecalis und den Pilz Candia albicans. Diese Keime sind häufig in Fällen endodontischer Misserfolge anzutreffen (Love 2001, Spratt et al. 2001). 0,2 % CHX ist genauso effektiv wie 100 % MTAD in der Wirkung gegen Enterococcus faecalis (Portenier et al. 2006).

Von klinischer Bedeutung ist die von Zehnder (2006) berichtete Verfärbung des Dentins. Bei der Verwendung einer Kombination aus NaOCl und CHX entsteht ein Präzipitat, welches zuvor offene Dentintubuli verlegt. Selbst die intensive Trocknung mittels Aspiration und Papierspitzen reichen nicht aus, um die Reaktion von CHX und NaOCl zu verhindern (Bui et al. 2008). Ebenso ist nicht abschließend geklärt, ob die abgeschiedene Substanz Reaktionen mit dem Sealer hervorruft und welchen Einfluss diese Reaktion hat (Gomes et al. 2003).

2.5.3 Chelatoren

Zur Erleichterung der Aufbereitung verwendet man Chelatoren. Diese Stoffgruppe hat die Eigenschaft, Kalziumionen aus dem Dentin herauszulösen. Der Begriff stammt vom griechischen Chele (= Hummerschere) ab. Erstmalig berichteten von Hahn und Reygadas (1951), dass Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) einen demineralisierenden Effekt auf Zahnhartgewebe hat. Von Nygaard-Østby wurde 1957 erstmals EDTA in der Zahnheilkunde verwendet (Nygaard-Østby 1957). Die

großen Moleküle des Chelators können jeweils ein bis zwei Metallionen binden (Hülsmann 1997). Das Binden eines Kalziumions führt zur Erweichung des Dentins und somit zur Erleichterung des Materialabtrages. Auf diese Weise verspricht man sich eine vereinfachte Aufbereitung durch Entlastung des Arbeitsinstrumentes bei der Aufbereitung enger und/oder stark kalzifizierter Wurzelkanäle (Hülsmann et al. 2002). So kann eine normal konzentrierte EDTA-Lösung 10,5 g Kalzium aus 100 g herauslösen (Pawlicka et al. 1981). Chelatoren liegen in flüssiger oder pastenförmiger Zubereitung vor. Das flüssige EDTA liegt in wässriger Lösung mit einer Konzentration von 15 % – 24 % vor. Das pastenförmige RC-Prep® (Premier Dental, Philadelphia, PA, USA) liegt in einer speziell löslichen Wasserbasis mit Glycol und Harnstoffperoxid (10 %) vor. Der Einsatz von Chelatoren dient hauptsächlich der Entfernung der Schmierschicht (Aktener und Bilkay 1993). Die vollständige Entfernung des Smear Layer ist aber nur mit zusätzlicher Aktivierung möglich. Der Einsatz von Chelatoren während der Wurzelkanalpräparation kann empfohlen werden, wobei ein vorsichtiger Gebrauch indiziert ist, um eine Verletzung des periapikalen Gewebes zu verhindern (Hülsmann et al. 2003b). Scelza et al. (2000) konnten wie vorher schon andere Autoren (Baumgartner und Mader 1987, Şen et al. 1995) zeigen, dass Kombinationen aus NaOCl und EDTA die Wurzelkanalwand nahezu vollständig von Geweberesten und Schmierschicht befreien und die Dentintubuli freilegen können.

2.5.3.1 Ethylendiamintetraessigsäure

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) öffnet Dentintubuli und führt zu einer sauberen Wurzelkanaloberfläche (Çalt und Serper 2002, Hottel et al. 1999, O'Connell et al. 2000). Die Effektivität wird von einigen Autoren vor allem im koronalen und mittleren Drittel des Wurzelkanals bestätigt, wohingegen das apikale Drittel schlechter gereinigt wird (Hülsmann et al. 2002, Lim et al. 2003). Der alleinige Einsatz von EDTA entfernt nur den anorganischen Teil der Schmierschicht und belässt den organischen Anteil (Baumgartner et al. 2007, Takeda et al. 1999, Yamada et al. 1983). Aus diesem Grund wird der Einsatz von EDTA in Kombination mit NaOCl empfohlen. In mehreren Studien wurde die Effektivität dieser Kombination bestätigt (Baumgartner und Mader 1987, Stewart 1998, Guerisoli et al. 2002, Hata et al. 1996,

Yamada et al. 1983). Es konnte gezeigt werden, dass durch eine Spülung mit EDTA die Adhäsion des Sealers zum Dentin erhöht werden kann (Stevens et al. 2006). Die Konzentrationen des verwendeten EDTA sollten zwischen 15 % und 24 % liegen, um eine akzeptable Entfernung des Smear Layers und eine Kollagen-Exposition in einer akzeptablen Zeit zu erreichen. Crumpton et al. (2005) stellten fest, dass Volumina größer als 1 ml EDTA zu keiner Verbesserung der Wirkung führen. Die größte antibakterielle Aktivität besitzt EDTA bei einer Konzentration von 10 %, pH Wert 7,0 und 9,0 (Pawlicka und Nowacka 1982).

Nachteile von EDTA sind die begrenzten antibakteriellen Effekte und die destruktive Wirkung auf das Wurzelkanaldentin (Torabinejad et al. 2002). Dies äußert sich in der Demineralisation des intertubulären Dentins und in einer Vergrößerung der Dentintubuli (Çalt und Serper 2002, Takeda et al. 1999). Zusätzlich erfolgt eine Denaturierung der Kollagenfasern (Çalt und Serper 2002).

2.5.3.2 Zitronensäure

Zitronensäure ist eine farblose, wässrige Flüssigkeit. Sie wirkt Kalziumionen bindend und demineralisiert auf diesem Wege Dentin (González-López et al. 2006). Sie entfernt gut die Schmierschicht (Khedmat und Shokouhinejad 2008). Allerdings entfernt 17 % EDTA in der gleichen Zeit mehr Kalziumionen aus bovinem Dentin als zwanzig prozentige Zitronensäure. Die Demineralisierung in den ersten 3 Minuten ist für EDTA 17 % ausgeprägter als für Zitronensäure (González-López et al. 2006). Entscheidend für das Ausmaß der Demineralisierung ist die Gesamteinwirkzeit. Bei längerer Einwirkzeit steigt die Gefahr von Erosionen stark an. Mit steigender Entkalzifizierung sinkt die Oberflächenhärte des Dentins und die mechanische Präparation der Kanalwandoberfläche wird leichter (Eldeniz et al. 2005). Diese Eigenschaft kann die Präparation in engen und kalzifizierten Kanälen erleichtern. Zitronensäure wird in Konzentrationen zwischen 10 – 20 % angewendet (González-López et al. 2006, Krause et al. 2007, Scelza et al. 2000). Baker Mc et al. (1988) zeigten, dass Zitronensäure und NaOCl gemeinsam angewendet den Wurzelkanal effektiver reinigen als die alleinige Anwendung von NaOCl.

2.5.4 Aktivierung der Spülflüssigkeiten

Einen Überblick über die Möglichkeiten einer Aktivierung der Spüllösung gibt Abbildung 1.

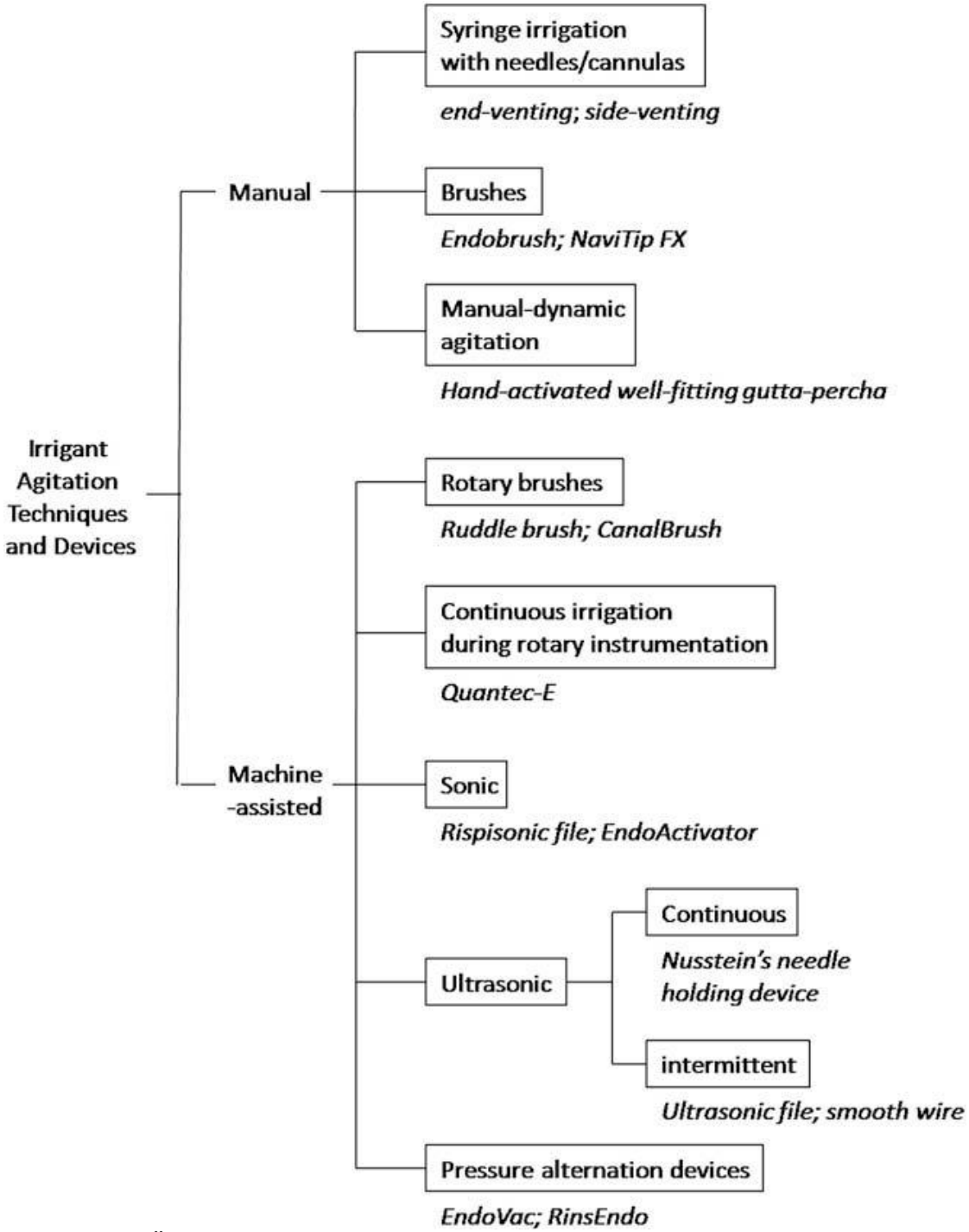


Abbildung 1: Übersicht der Aktivierungstechniken und Geräte aus Gu et al. (2009, S. 792)

2.5.4.1 Erwärmung

Mit Hilfe spezieller Öfen (z.B. Syringe Warmer, American Dental Systems, Vaterstetten) ist es möglich, die Spüllösung auf eine wirkungsvolle Temperatur zu erwärmen (Berutti und Marini 1996, Cotter et al. 1985). Dies ist mit allen flüssigen Präparaten möglich und wird hauptsächlich für NaOCl empfohlen.

2.5.4.2 Mechanische Aktivierung (CanalBrush)

Die CanalBrush® (Roeko, Langenau) ist eine im Winkelstück zu verwendende Bürste. Von einem zentralen Polypropylen-Stift zeigen im Winkel von 90° jeweils zwei Bürstenhaare nach außen. Die Arbeitselemente sind um 180° versetzt angeordnet. Die Bürstenhaare berühren in jedem Fall im unteren bis mittleren Kanaldrittel die Wand des Wurzelkanals. Die CanalBrush soll nach Herstellerangaben mit maximal 600 Umdrehungen pro Minute verwendet werden. Der verarbeitete Kunststoff ist äußerst flexibel und sehr stabil. Die Bürstenhaare streifen die Kanalwand ohne Kraft auszuüben. Durch die gleichmäßige Länge der Bürstenhaare wird lateraler Druck gedämpft, da sich die Arbeitselemente dann zu biegen beginnen.

2.5.4.3 Schallaktivierung (EndoActivator)

Oszillierende Instrumente, die mit Frequenzen unterhalb des Ultraschallbereiches schwingen, erhöhen mittels ihrer Bewegung die Wirksamkeit des Agens im Kanal. Das von Clifford Ruddle vorgestellte Gerät EndoActivator (Advanced Endodontics, Santa Barbara, USA) gibt es mit 3 verschiedenen Polymer-Ansätzen. Es schwingt in drei unterschiedlichen Intensitäten (2000, 6000, 10000 Schwingungen pro Minute). Die Schwingungen werden mittels des Polymeransatzes in die statische Lösung übertragen. Dabei soll die Penetration und die Zirkulation der Spülflüssigkeit in unzugängliche Bereiche verbessert werden (Ruddle 2007). Es erfolgt eine hydrodynamische Aktivierung des desinfizierend wirkenden Agens. Die Schwingung

verläuft lateral, sie besitzt keinerlei Hubbewegung. Townsend und Maki (2009) fanden keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem EndoActivator und einer Ultraschallaktivierung.

2.5.4.4 Ultraschallaktivierung

Durch Anwendung magnetostriktiver oder piezoelektrischer Schallgeber wird eine Schwingung im Ultraschallbereich (20 kHz – 40 kHz) erzeugt. Die Schwingung wird auf eine am Handstückkopf sitzende Feile übertragen. Die Feile schwingt mit einer stehenden Welle, so dass dort Schwingungsbäuche und Knoten von apikal nach koronal auftreten. Innerhalb einer Flüssigkeit spricht man von „acoustic streaming“ (Ahmad et al. 1987b, van der Sluis et al. 2006). Die Flüssigkeit wird um die Feile herum in so starke Schwingungen versetzt, dass die übertragene Energie größer ist als die Kohäsionskraft der Moleküle untereinander. Es kommt zum Entstehen von Luftbläschen und zu deren Kollaps. Dieses Phänomen setzt Energie an der zu reinigenden Oberfläche frei, ohne dass direkter Wandkontakt mit der Feile benötigt wird. Durch die freie Schwingung der Feile (passive ultrasonic irrigation - PUI) ist die übertragene Energiemenge größer als bei aktiver Aufbereitung mit Ultraschallfeilen (Plotino et al. 2007, van der Sluis et al. 2007b).

Hinzu kommen ein vermehrter Flüssigkeitsaustausch von koronal nach apikal und zusätzlich eine Erwärmung der Spülflüssigkeit durch die übertragene Energie (Ahmad et al. 1987b, Jensen et al. 1999). Cameron (1987) wies einen synergistischen Effekt von 2 % NaOCl und Ultraschall zur Entfernung der Schmierschicht nach. Sjögren und Sundqvist (1987) stellten fest, dass Ultraschall notwendig ist, um eine vollständige Bakterienelimination zu erreichen.

Ein Nachteil der ultraschallgestützten Spülung besteht im Risiko der Stufenbildung bei der Anwendung in gekrümmten Wurzelkanälen (Lumley et al. 1992).

Gegenstand vieler Studien ist die verbesserte Entfernung der Schmierschicht durch eine Spülung mittels Ultraschall. Nahezu einstimmig wird von einer gesteigerten Effektivität der Spüllösung berichtet, die sich auch auf nicht instrumentierte

Kanalwandbezirke erstreckt (Ahmad 1989, Guerisoli et al. 2002, Goodman et al. 1985, Gutarts et al. 2005, Lee et al. 2004a, 2004b, Metzler und Montgomery 1989, Panighi und Jacquot 1995). So wird sogar von Wurzelkanalbezirken berichtet, welche nicht instrumentiert belassen, durch die Ultraschallaktivierung gereinigt wurden (Lee et al. 2004a). Van der Sluis et al. (2007b) zeigten, dass eine passive Ultraschallspülung zu statistisch signifikant dichteren Wurzelfüllungen führte. In einer früheren Studie war nur die Tendenz zur besseren Kanalreinigung mit PUI zu erkennen (van der Sluis et al. 2005). Baker Mc et al. (1988) und Stamos et al. (1987) zeigten, dass statistisch kein signifikanter Unterschied des Reinigungsgrades mit und ohne Ultraschallaktivierung im apikalen Anteil zu erkennen ist. Ebenso stellten Biffi und Rodrigues (1989) fest, dass nicht die verwendete Aktivierungstechnik die Sauberkeit im Kanal verbessert, sondern die anatomischen Variationen des Untersuchungsmaterials das Ergebnis mehr beeinflussen. Sabins et al. (2003) verglichen die Wirkung von Schall und Ultraschallaktivierung und stellten fest, dass Ultraschall die Wurzelkanalwand signifikant besser reinigt als Schallaktivierung (MM 1500 sonic handpiece (Medidenta International Inc., Woodside, USA)).

2.5.4.5 Hydrodynamisch

2.5.4.5.1 Nicht instrumentierende Technik

Das von Lussi et al. (1993) beschriebene System arbeitet mittels alternierenden Unterdrucksequenzen. Der Zahn wird nach Unterdruckerzeugung (-0,7 bar) wieder mit Normaldruck (-0,1 bar) geflutet. Das dabei eingebrachte desinfizierende Agens überschwemmt den Wurzelkanal. Die entstehenden hydrodynamischen Turbulenzen reinigen die Wurzelkanalwand. Der Wechsel zwischen Unter- und Normaldruck erfolgt in einer Frequenz von 25 Hertz.

Lussi führte 1995 eine Studie zur Überprüfung der Wirksamkeit der 1993 vorgestellten Technik durch. Als Kriterium der Kanalreinheit wurde der elektrische Leitwert des Hauptwurzelkanals herangezogen. Pulpales Gewebe hat einen Widerstand wie physiologische Kochsalzlösung. Der elektrische Widerstand von Natriumhypochlorit ist etwa zehnfach geringer als der von Kochsalzlösung. Die

Messung wurde bei einer Frequenz von 500 Hertz und einem konstanten Strom von 100 µA bei 4000 Ω durchgeführt. Ein sauberer Kanal wurde mit einer besseren Leitfähigkeit, somit mit kleinerem elektrischem Widerstand des Hauptwurzelkanals ermittelt. Der Zahn selbst galt als rein in der Studie, wenn die Leitfähigkeit gestiegen war.

Die Untersuchungen von Lussi et al. (1993, 1995) ergaben eine gleiche oder bessere Kanalreinigung in allen Kanalabschnitten im Vergleich zur Handaufbereitung und -spülung. Attin et al. (2002) stellten fest, dass die Technik ohne Instrumentierung noch weiterer Verbesserung bedarf.

2.5.4.5.2 RinsEndo®

Das RinsEndo®-System (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen) arbeitet mit einer Saug-Druck-Technologie. Die Technik bedient sich des Einsatzes von Über- und Unterdrucksequenzen. Der Wechsel von Über- zu Unterdruck erfolgt mit einer Frequenz von 25 Hertz. Die Erweiterung des Endodontes erfolgt maschinell oder von Hand.

Zunächst werden Hohlräume erzeugt, indem der Druck reduziert wird. Ein Abfall auf -0,7 bar erzeugt Hohlräume. Diese kollabieren durch eine plötzliche Druckerhöhung auf -0,1 bar. Dies führt durch den vorhandenen Dampf und durch den steilen Druckanstieg zu Verwirbelungen, die in der Flüssigkeit Energie an der Dentinoberfläche freisetzen. Zusätzlich penetriert das Antiseptikum das gesamte Wurzelkanalsystem. Die Größe der Hohlräume oder Bläschen variiert zwischen 5 bis 50 µm.

Hauser et al. (2008) kamen zu dem Ergebnis, dass die Penetrationstiefe des Systems zwar besser ist als eine dynamische Handspülung oder eine statische Applikation der Lösung, gleichzeitig aber das Risiko einer apikalen Extrusion um 80 % ansteigt. Köhrer und Köhrer (2005) empfehlen das System uneingeschränkt für den Praxiseinsatz.

2.6 Methoden zur Untersuchung der Schmierschicht

Die Schmierschicht wurde erstmals 1970 von Boyde und Knight (Boyde und Knight 1970) beschrieben. Ihre Struktur und die Möglichkeiten ihrer Entfernung werden heute überwiegend durch Betrachtung im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Die hierbei benutzten Bewertungsscores variieren ebenso wie die verwendeten Vergrößerungen unter dem REM zwischen 800x und 4000x (Ahmad et al. 1987a, 1987b, Baumgartner und Mader 1987, Bechelli et al. 1999, Berutti et al. 1997, Çalt und Serper 2002, Cameron 1983, da Silva et al. 2008, Di Lenarda et al. 2000, Fukumoto et al. 2006, Gambarini 1999, Gambarini und Laszkiewicz 2002, Hata et al. 1996, Hülsmann et al. 2002, Khedmat und Shokouhinejad 2008, Lim et al. 2003, Liolios et al. 1997, Lumley et al. 1993, Mandel et al. 1990, O'Connell et al. 2000, Panighi und Jacquot 1995, Pérez-Heredia et al. 2006, Scelza et al. 2000, Stevens et al. 2006, Teixeira et al. 2005, Zehnder et al. 2005).

Bei allen elektronenmikroskopischen Verfahren wird die zu beobachtende Fläche mittels Rasterelektronenmikroskopie oder Linearelektronenmikroskopie untersucht. Hierfür wird die Oberfläche elektrisch leitfähig gemacht, indem sie mit einer dünnen Goldschicht überzogen wird. Diesen Vorgang bezeichnet man als Besputterung. Die wenige Nanometer dicke Goldschicht fixiert die Oberflächenstruktur dauerhaft. Ein präziser Elektronenstrahl trifft bei der Untersuchung auf die Oberfläche und wird mittels einer fluoreszierenden Schicht oder mittels eines Bildnehmers elektronisch wiedergegeben. Man sieht die Oberflächenstruktur in 100- bis 100000facher Vergrößerung. Die entscheidende Voraussetzung ist die Abwesenheit von Wasser. Sämtliche Proben müssen vor dem Bedampfen völlig getrocknet sein. Diese Austrocknung kann im Exsikkator mittels Trockenperlen (z. B.: Asol Trockenperlen Orange, Analytical Systems GmbH, Herne) geschehen. Ebenso ist eine kritische Punkt-Trocknung direkt vor der Besputterung möglich oder beide Trocknungsvorgänge aufeinanderfolgend.

So untersuchten Scelza et al. (2000) die Zahnhälften unter dem REM. Unter 350facher Vergrößerung wurde für jedes Kanaldrittel ein Foto erstellt. Diese Fotos wurden vergrößert und mit einem 72 mm Gitter, bestehend aus 64 Quadraten,

unterlegt. Drei Untersucher zählten die Anzahl der offenen Dentintubuli innerhalb von 16 Quadraten, die zufällig ausgewählt wurden. Aus den 16 Quadraten wurde die Summe der offenen Dentintubuli für dieses Kanaldrittel errechnet.

Der Bewertungsscore von Hülsmann et al. (1997) wurde zur Auswertung der Sauberkeit der Wurzelkanalwand in zahlreichen Studien verwendet (zum Beispiel Gambarini und Laszkiewicz 2002). In anderen Studien wurde die Anzahl der offenen Dentintubuli gezählt (Di Lenarda et al. 2000). Bechelli et al. (1999) und Berutti und Marini (1996) machen keine genauen Angaben über die Benutzung einer Skala.

Die Studien wurden mit einem Untersucher (Gambarini 1999, Pérez-Heredia et al. 2006), zwei (Zehnder 2006) oder drei Untersuchern (Fukumoto et al. 2006, Scelza et al. 2000) durchgeführt. Hier veränderten sich in Abhängigkeit der Fragestellung die Untersuchungsbedingungen. Durch doppelt blinde Untersuchung wird ein genaueres Ergebnis erzielt. Eine andere Vorgehensweise findet sich in der zweiten Evaluierung der Ergebnisse (Khedmat und Shokouhinejad 2008) und bei fehlender Übereinstimmung in einer dritten Ergebnisfindung.

Çalt und Serper (2002), Hata et al. (1996), Liolios et al. (1997), O’Connell et al. (2000) untersuchten anhand von repräsentativen Bildern die Menge an Schmierschicht. Andere Untersucher erstellten eigene Skalen zur Bewertung der Schmierschicht (Ahmad et al. 1990, Baumgartner und Mader 1987).

Gu et al. (2009) zeigten auf, dass ein standardisiertes Modell für die Wirkung auf den Biofilm, das Dentin und die Wurzelkanalspülung benötigt wird, um eine Vergleichbarkeit der Studien zu erzielen.

3 Zielstellung

Es ist das Ziel der vorliegenden Studie, die Reinigungswirkung der CanalBrush® und des EndoActivator® mit der abschließenden dynamischen Handspülung und der Ultraschall aktivierten Spülung in der Entfernung des Debris und der präparationsbedingten Schmierschicht unter standardisierten In-vitro-Bedingungen zu vergleichen.

Die Ergebnisse sollen statistisch ausgewertet werden und mit den Angaben in der Literatur verglichen werden.

4 Material und Methode

In der vorliegenden Studie wurde die Entfernung von Smear Layer mit Hilfe von drei verschiedenen Techniken (Ultraschall, EndoActivator®, CanalBrush®) untersucht. Für die Untersuchung wurden 80 mesio-bukkale Wurzelkanäle humaner, extrahierter Unterkiefermolaren verwendet. Die Extraktion der Zähne war aus parodontalen oder restaurativen Gründen erfolgt und stand in keinem kausalen oder zeitlichen Zusammenhang zur vorliegenden Studie. Die Mindestzahnlänge musste 19 mm betragen und das Wurzelwachstum abgeschlossen sein. Es durften keine Wurzelfüllungen vorhanden sein.

4.1 Vorauswahl des Untersuchungsmateriales

Es erfolgten die Trepanation der Zähne sowie die Ermittlung des Krümmungsgrades der Wurzelkanäle. Durch Instrumentierung mit einer C-Pilot-File der Größe ISO 10 (VDW, München) und anschließendes Anfertigen einer Röntgenaufnahme konnte die Wurzelkrümmung nach Schneider klassifiziert werden. Die Zähne wurden in vestibulo-oraler Richtung geröntgt und die Röntgenbilder mit einem CanoScan 3200F Scanner (Canon, Japan) digitalisiert (2400 dpi, 16 bit Graustufen). Um die Darstellung zu verbessern, erfolgte in CorelDraw (Corel Corporation, Unterschleißheim) die Vergrößerung der Bilder auf das Fünffache. An den apikalen und koronalen Segmenten konnte ein Trapez von 5 mm beziehungsweise 10 mm Länge über die C-Feile gelegt werden. Die Mittellinien der Trapeze wurden verlängert, der Schnittpunkt ergab den Scheitelpunkt des zu ermittelnden Winkels. Mit dem Hilfsmittel Dimension – Winkelmesser konnte der entstandene spitze Winkel ausgemessen werden. Ausschlusskriterium war eine Wurzelkrümmung unter 20,0°. Damit verblieben im Untersuchungsmaterial ausschließlich mäßig bis stark gekrümmte Kanäle.

Wurzelkanäle, in die initial ein Instrument größer ISO 20 eingebracht werden konnte, wurden verworfen. Von 108 vorhandenen Zähnen verblieben nach der Vorauswahl 80 Zähne. Alle Ausschlusskriterien sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Zähnlänge kleiner 19 mm
Stark zerstörte Zähne
vorhandene Wurzelfüllungen
Kanäle Initial größer ISO 20
Nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum, unvollständige Wurzelspitze
Wurzelkrümmung kleiner 20,0 °

Tabelle 1: Ausschlusskriterien für die verwendeten Zähne

4.1.1 Evaluierung: Bestimmung der Wurzelkrümmung

Zur Ermittlung der Wurzelkanalkrümmung nach der von Schneider 1971 beschriebenen Methode wurde eine Röntgenaufnahme einer unbenutzten C-Pilot-Feile der ISO-Größe 10 angefertigt. Das Röntgenbild wurde mit CanonScan 3200F digitalisiert und fünffach vergrößert. Mit Hilfe von Coral Draw wurden zwei Trapeze eingefügt, die nach ebenfalls fünffacher Vergrößerung in den apikalen 5 mm und dem koronalen Anteil über die C-Pilot-Feile gelegt wurden. Die Mittellinien der Trapeze sind bei gerader C-Pilot-Feile parallel und bilden einen Winkel von 0° zueinander. Positioniert man die Trapeze über eine gekrümmte Feile im apikalen und koronalen Anteil, so ergeben die Mittellinien der Trapeze einen Schnittpunkt. Der so entstandene spitze Winkel ergibt die Wurzelkrümmung. Die Ermittlung des Winkels erfolgte mit Hilfe des Hilfsmittels Dimension – Winkelmesser in CorelDraw. Das Hilfsmittel gibt den Winkel auf eine Nachkommastelle aus. Um die Methodik zu testen, dienten jeweils 10 Endotrainer mit 20° und mit 30° als Referenz. Der Winkel konnte jeweils bis auf 0,5° genau ermittelt werden.

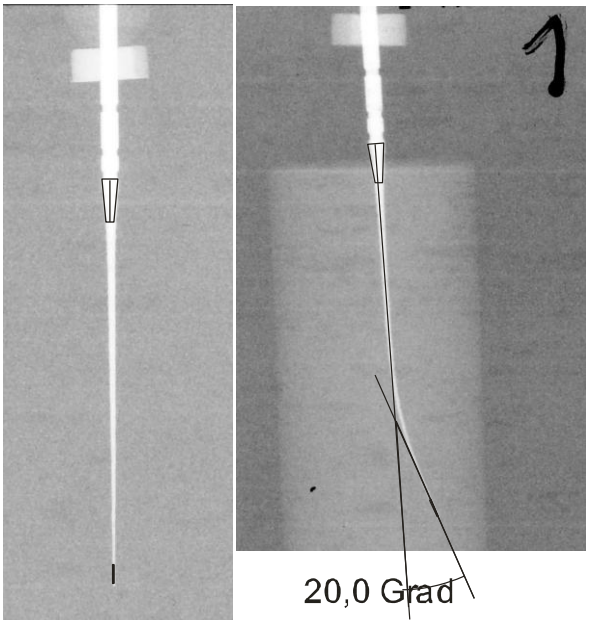


Abbildung 2: Bild mit Trapezen und Mittellinien und ein Röntgenbild mit eingezeichnetem Winkel

4.2 Präparation der Zähne

Die mesio-bukkalen Wurzelkanäle der UK-Molaren wurden mit FlexMaster® NiTi-Feilen (VDW, München) in der empfohlenen Crown-Down-Technik bis zur ISO-Größe .02/40 präpariert (Sonntag et al. 2005). Die Zähne wurden von koronal auf eine Länge von 19 mm gekürzt. Damit betrug die Aufbereitungslänge standardisiert 18 mm. Der Austausch verbrauchter Instrumente erfolgte nach achtmaliger Anwendung. Während der Präparation wurde bei jedem Instrumentenwechsel mit 3 ml NaOCl 3 % gespült. Auf einen Chelator verzichtet man, da dies die Bildung einer Schmierschicht behindert hätte und seine Verwendung als Gleitmittel für NiTi-Instrumente kontrovers diskutiert wird.

Alle Spülungen erfolgten mit einer 5 ml Spritze mit einer Nadel der Größe 30 (NaviTip 30 Gauge, Ultradent, München). Um die Menge an Spülflüssigkeit konstant zu halten, wurden die Spülungen manuell durchgeführt. Die Spülnadel wurde je nach Aufbereitungsstand so tief wie möglich in den Wurzelkanal ohne Wandkontakt eingeführt, höchstens jedoch bis zu einer Arbeitslänge von 17 mm.

Nach abgeschlossener Präparation und Trocknung mit Papierspitzen der ISO-Größe 40 (Roeko, Langenau) wurden die Zähne randomisiert auf vier Gruppen verteilt.

4.3 Verwendete Aktivierungsgeräte

4.3.1 Ultraschall

Es wurde das piezo smart® Gerät der Firma mectron (mectron, Langenau) verwendet. Die Leistung wurde auf Stufe 3 gemäß der Bedienungsanleitung beschränkt. In das Handstück wurde ein Aufbereitungsinstrument ISO 20 eingesetzt. Der Betrieb erfolgte ohne Spülmedium.

4.3.2 EndoActivator®

Der EndoActivator (EA) ist ein batteriebetriebenes Handstück, in dem ein Motor mit Hilfe einer aus Polymer bestehenden Spitze Schallwellen auf die Spülflüssigkeit überträgt. Die Polymerspitzen liegen in den drei Größen Small (15/02), Medium (25/04) und Large (35/04) in einer Länge von 22 mm vor. Der erste Wert bezeichnet hier den Spitzenquerschnitt 1 mm vor der Instrumentenspitze, der zweite Wert gibt die Konizität des Instrumentes, also 2, 4 oder 6 %, an.

Der EA wird mit 2000, 6000, oder 10000 cpm (cycles per minute) betrieben.

4.3.3 CanalBrush®

Die CanalBrush ist aus Polypropylen gefertigt und besteht aus einem zentralen Stift, von dem jeweils zwei im 90° Winkel um 180° versetzte einzelne Bürstenhaare abstehen. Es befinden sich 2 Bürstenpaare auf jedem Millimeter der Bürste, der apikale Millimeter ist nicht mit Bürstenhaaren besetzt. Sie ist mit maximal 600 Umdrehungen im Winkelstück anzuwenden und bei 134° autoklavierbar.

Abbildung 3: CanalBrush im Wurzelkanal.

4.4 Versuchsaufbau

Die Zähne wurden den einzelnen Versuchsgruppen randomisiert zugeordnet (4.5), die Lagerung der Zähne erfolgte in wieder verschließbaren PE-Behältern. Die Container wurden mit aqua destillata befüllt.

4.5 Versuchsgruppen

Gruppe 1: 20 Zähne

Spülprotokoll:

Während der Präparation: Spülung mit 3 ml NaOCl 3 % nach jeder Instrumentengröße

Abschlussspülung mit 5 ml EDTA 17 %, Einwirkzeit 120 Sekunden

Abschlussspülung mit 5 ml NaOCl 3 %, Einwirkzeit 120 Sekunden

Trocknen mit sterilen Papierspitzen ISO 40, trockene Lagerung

Gruppe 2: 20 Zähne

Spülprotokoll:

Während der Präparation: Spülung mit 3 ml NaOCl 3 % nach jeder Instrumentengröße

Abschlussspülung mit 5 ml EDTA 17 % unter passiver Aktivierung mit Ultraschall (piezon smart) für 60 Sekunden

Gesamteinwirkzeit 120 Sekunden

Abschlussspülung mit 5 ml NaOCl bei passiver Aktivierung mit Ultraschall für 60 Sekunden

Gesamteinwirkzeit 120 Sekunden

Als Ergebnis von Vorversuchen wird folgendes Spülprotokoll angewendet: 30 Sekunden spülen (1,25 ml), aktivieren 60 Sekunden (2,5ml), 30 Sekunden spülen (1,25 ml).

Eindringtiefe der Ultraschallspitze: 2 mm kürzer als Aufbereitungslänge (16 mm)

Trocknen mit sterilen Papierspitzen ISO 40, trockene Lagerung

Gruppe 3: 20 Zähne

Spülprotokoll:

Während der Präparation: 3 ml NaOCl 3 % nach jeder Instrumentengröße

Abschlussspülung mit 5 ml EDTA 17 % und Aktivierung mit dem EndoActivator für 60 Sekunden

Gesamteinwirkzeit 120 Sekunden

Abschlussspülung mit 5 ml NaOCl 3 % und Aktivierung mit dem EndoActivator für 60 Sekunden

Gesamteinwirkzeit 120 Sekunden

Eindringtiefe des EndoActivator: 2 mm kürzer als Aufbereitungslänge (16 mm)

Trocknen mit sterilen Papierspitzen ISO 40, trockene Lagerung

Gruppe 4: 20 Zähne

Spülprotokoll: Während der Präparation: 3 ml NaOCl 3 % nach jeder Instrumentengröße

Abschlussspülung mit 5 ml EDTA 17 % und Aktivierung mit der CanalBrush für 60 Sekunden

Gesamteinwirkzeit 120 Sekunden

Abschlussspülung mit 5 ml NaOCl 3 % und Aktivierung mit der CanalBrush für 60 Sekunden

Gesamteinwirkzeit 120 Sekunden

Eindringtiefe der CanalBrush: 1 mm weniger als Aufbereitungslänge (17 mm)

Trocknen mit sterilen Papierspitzen ISO 40, trockene Lagerung.

Eine Übersicht über die Versuchsgruppen gibt Tabelle 2.

Gruppe	Manuelle Abschlussspülung	Abschlussreinigung Ultraschall	Abschlussreinigung EndoActivator	Abschlussreinigung CanalBrush
1	X			
2		X		
3			X	
4				x

Tabelle 2: Übersicht Gruppen und Aufbereitungsmethoden

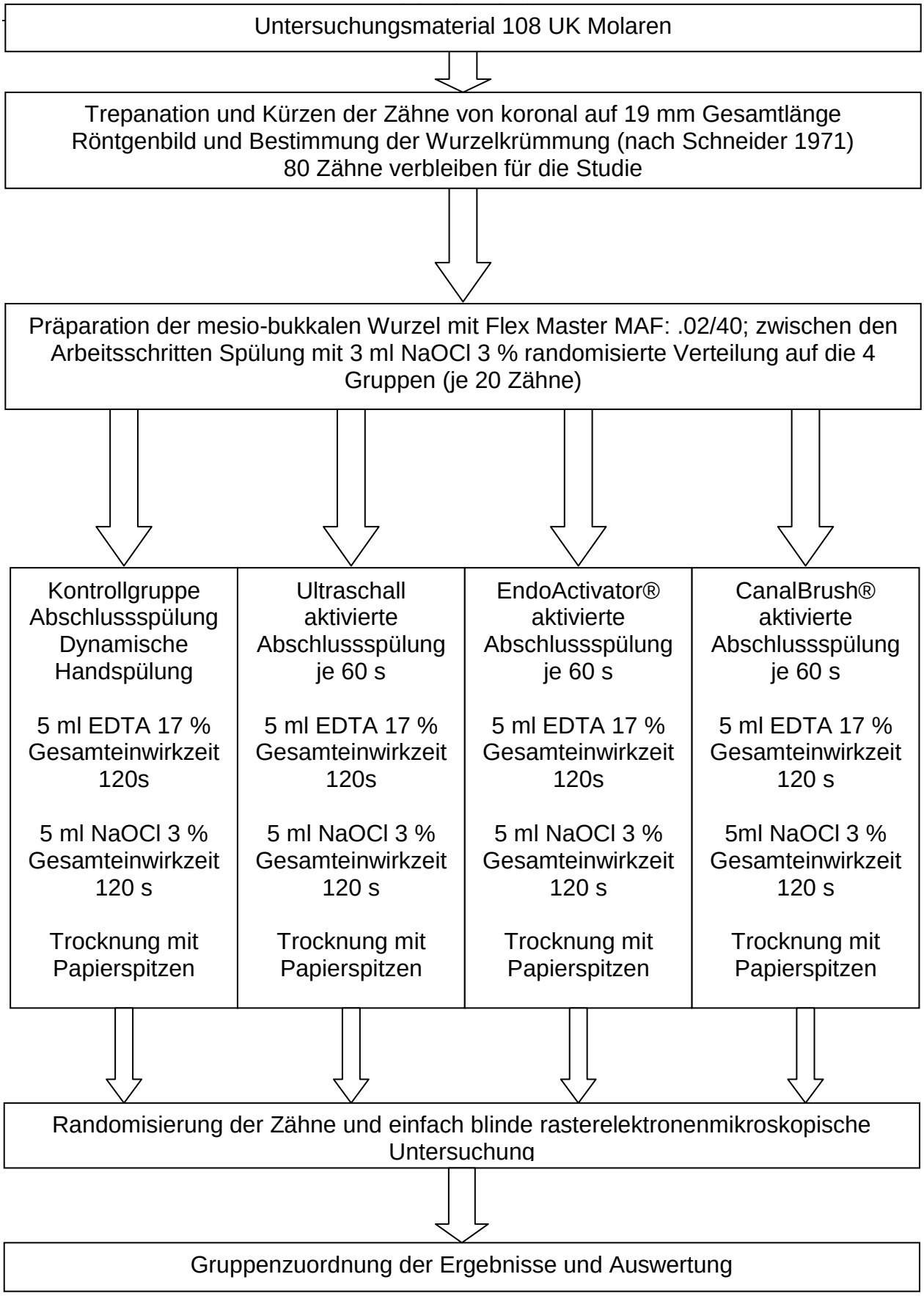


Abbildung 4: Flussdiagramm der Studie

4.6 Aufbereitung der Präparate zur Auswertung unter dem Rasterelektronenmikroskop

Die präparierten und gespülten Wurzelkanäle wurden mit Guttaperchastiften der ISO-Größe .02/35 bestückt und an der mesio-bukkalen und mesio-lingualen Seite vertikal bis zum Durchscheinen der Guttapercha mit einer diamantierten Trennscheibe (Komet, Lemgo) geschlitzt, ohne das Wurzelkanallumen zu eröffnen. Die Guttaperchaspitzen verhinderten eine Perforation des Kanallumens und das Eindringen von Schleifstaub in die Wurzelkanäle. Es erfolgte die Spaltung der Wurzelsegmente entlang der vertikalen Rillen. Es entstanden pro Wurzel 2 Präparate, eines der mesialen und eines der distalen Wurzelkanalwand. Dies ermöglichte die Bewertung der Innen- und Außenkurvatur des Wurzelkanals. Die Befestigung der so gewonnenen Präparate erfolgte unter Verwendung von lichthärtendem Komposite Charisma (Heraeus Kulzer, Hanau) auf Aluminiumnieten (Fa. Gespia, Waldorf). Die Präparate trockneten für drei Tage im Exsikkator. Alle Präparate wurden im Sputter (Fa. Fissons Instruments, Uckfield, GB) bei 2,4 kV, 20 mA für 270 Sekunden mit einer 7,5 Angström starken Goldschicht bedampft, um eine elektrische Leitfähigkeit herzustellen. Die Betrachtung der Kanalwand erfolgte im Rasterelektronenmikroskop DSM 960 (Fa. Zeiss, Oberkochen) mit der Einstellung Resolution med 7 bei Blende 3 und einer Spannung von 15 kV.

Smear-Layer und Debris wurden getrennt bewertet. Entsprechend der Nomenklatur der American Association of Endodontists *(AAE 1994)* werden die Untersuchungsparameter Debris und Smear Layer folgendermaßen definiert:

Debris: Der Kanalwand locker aufliegende Dentinpartikel und Reste pulpalen Gewebes.

Smear Layer: Ein oberflächlicher Film, der dem Dentin oder anderen Oberflächen nach der Bearbeitung mit rotierenden Wurzelkanalinstrumenten aufliegt; bestehend aus Dentinpartikeln, Überresten von vitalem oder nekrotischem Pulpagewebe, Bakterienzellresten und Rückständen verbliebener Spülflüssigkeit.

Debris und Smear Layer wurden in folgende Kategorien eingeteilt:

Debris (die Beurteilung des Debris erfolgte bei 200facher Vergrößerung):

- Score 1: Saubere, glatte Kanalwand oder nur vereinzelte kleine Auflagerungen (Abbildung 5)
- Score 2: Wenige kleine Debrisinseln (Abbildung 6).
- Score 3: Zahlreiche Debrisinseln, weniger als 50 % der Kanalwand von Debris bedeckt (Abbildung 7).
- Score 4: Mehr als 50 % der Kanalwand von Debris bedeckt (Abbildung 8).
- Score 5: Gesamte oder fast gesamte Kanalwand von Debrisschicht bedeckt (Abbildung 9).

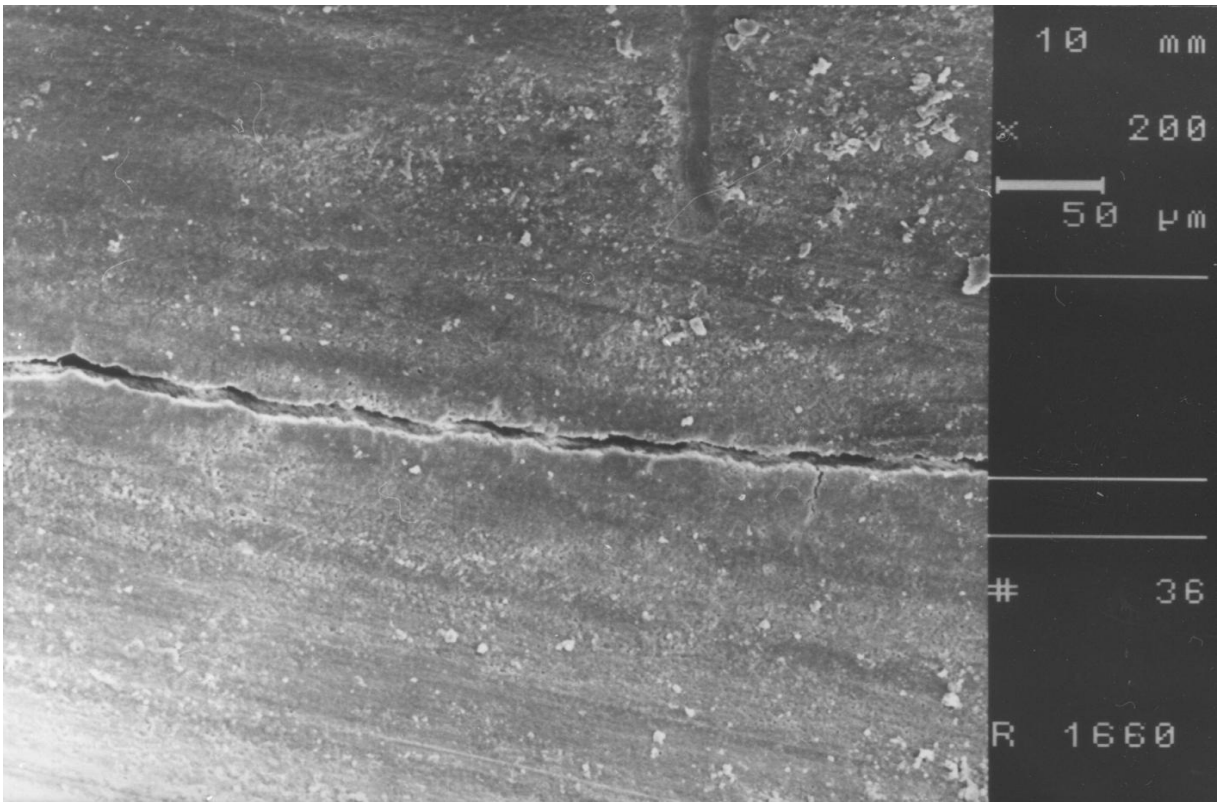


Abbildung 5: Debris Score I: glatte Kanalwand oder nur vereinzelte kleine Auflagerungen

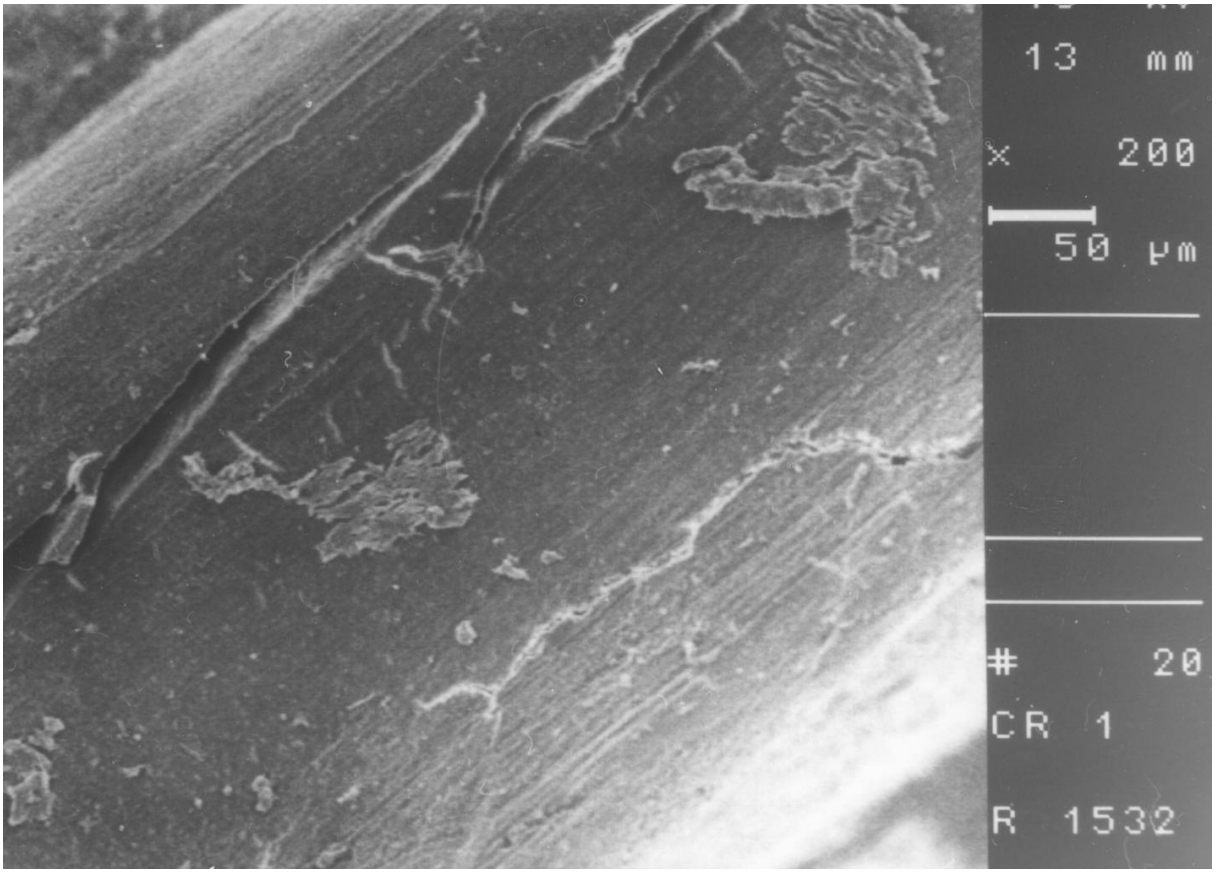


Abbildung 6: Debris Score II: Wenige kleine Debrisinseln

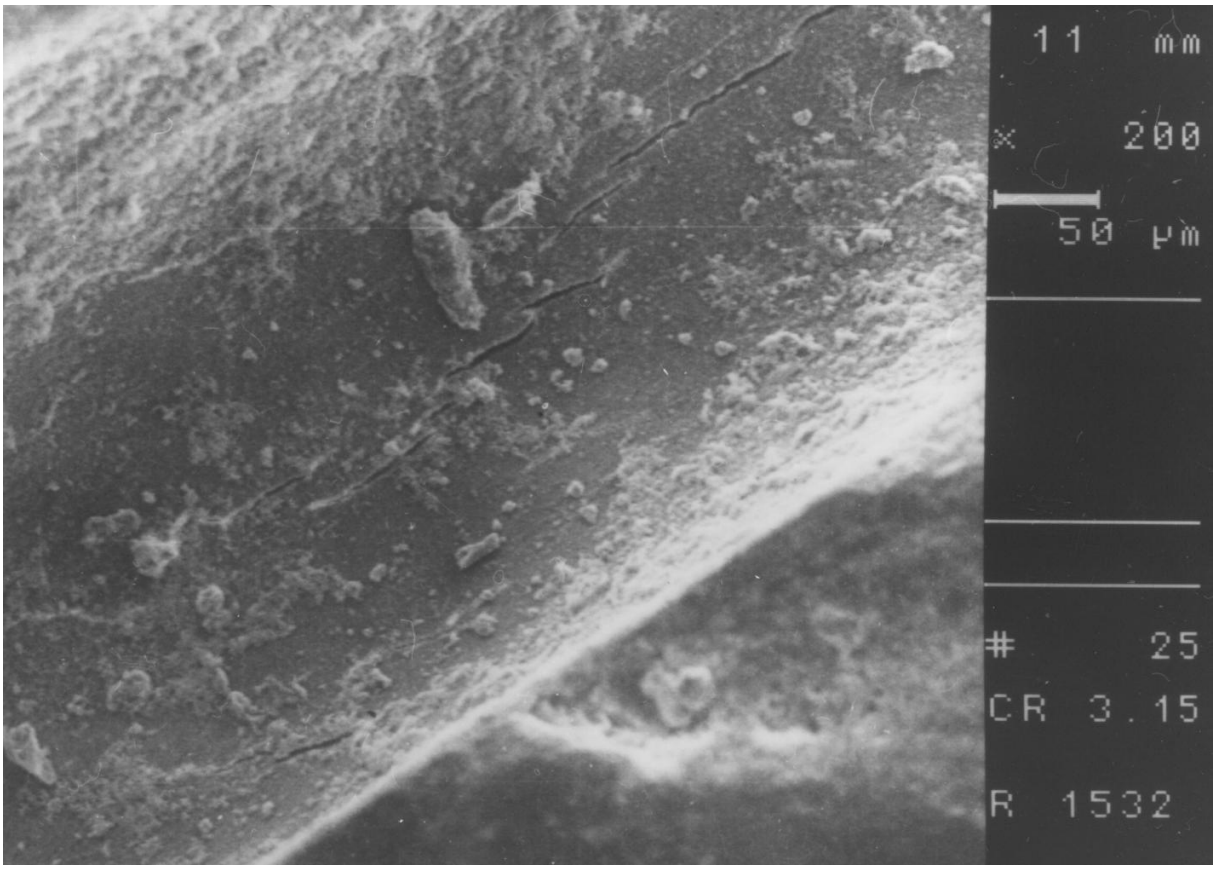


Abbildung 7: Debris Score III: Zahlreiche Debrisinseln, weniger als 50 % der Kanalwand von Debris bedeckt

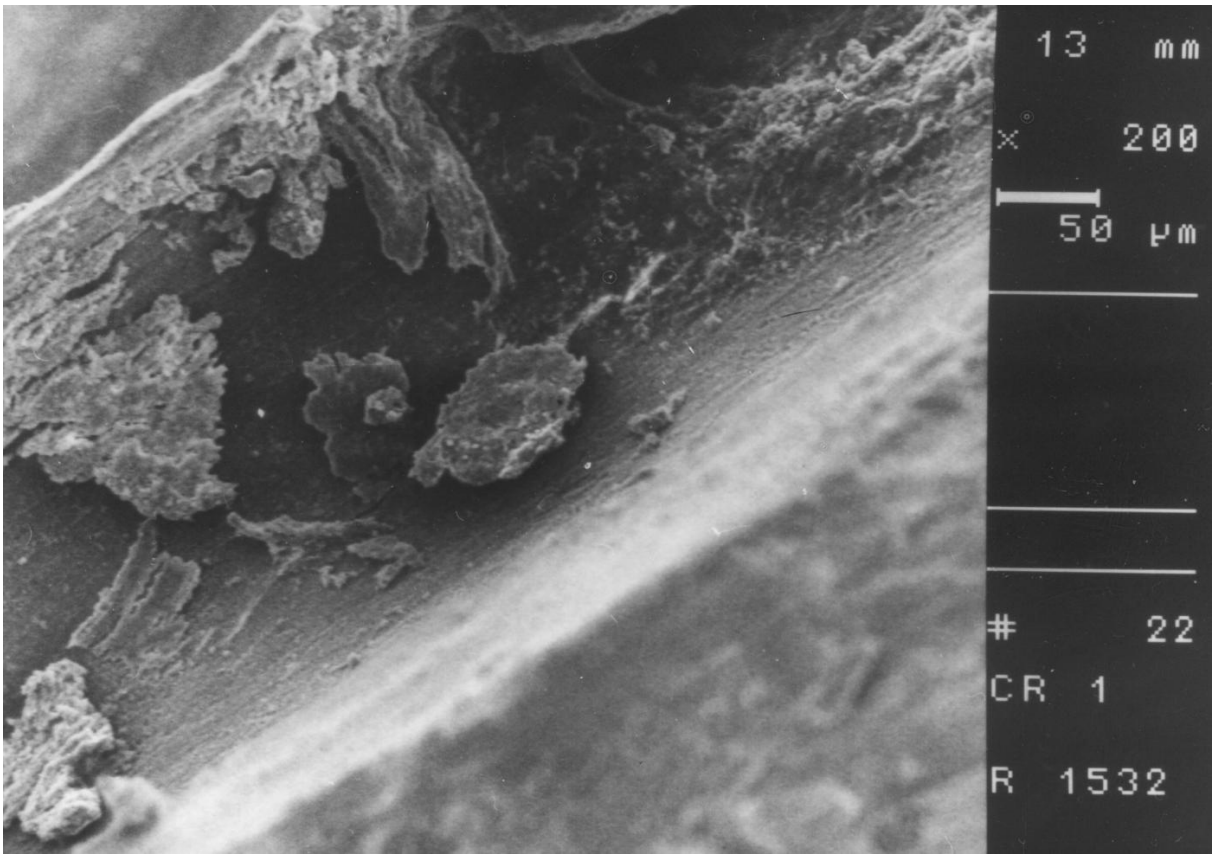


Abbildung 8: Debris Score IV: Mehr als 50 % der Kanalwand von Debris bedeckt

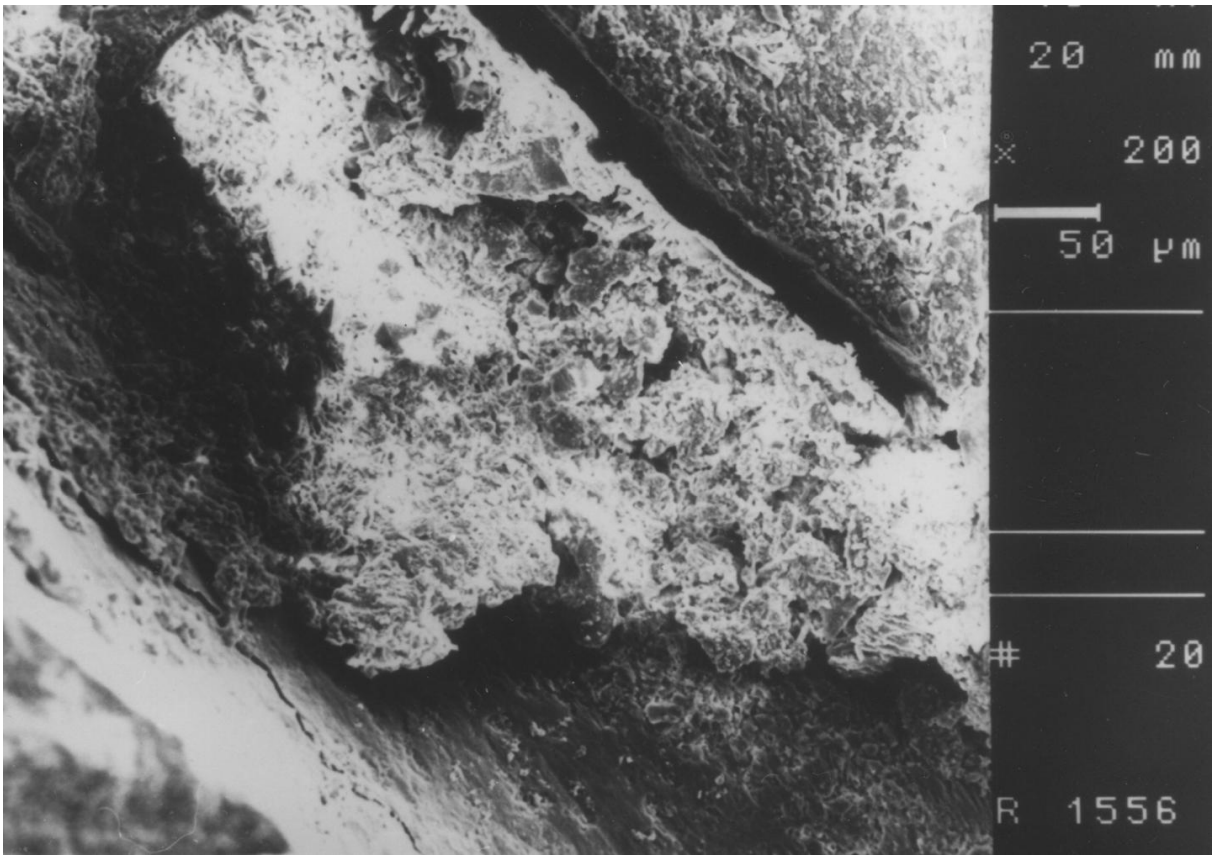


Abbildung 9: Debris Score V: Gesamte oder fast gesamte Kanalwand von Debrisschicht bedeckt

Smear Layer (die Beurteilung der Smear Layer erfolgte bei 1000facher Vergrößerung):

- Score 1: Keine oder fast keine Schmierschicht an der gesamten Wand, Dentintubuli überwiegend offen (Abbildung 10).
- Score 2: Dünne, homogene, aber gleichmäßige Schmierschicht an der gesamten Wand, nur vereinzelt offene Dentintubuli (Abbildung 11).
- Score 3: Gesamte Kanalwand von einer inhomogenen Schmierschicht bedeckt (Abbildung 12).
- Score 4: Inhomogene Schmierschicht mit großen Debrisinseln an der gesamten Kanalwand (Abbildung 13).
- Score 5: Kanalwand nicht bearbeitet, dichte, inhomogene Schmierschicht (Abbildung 14).

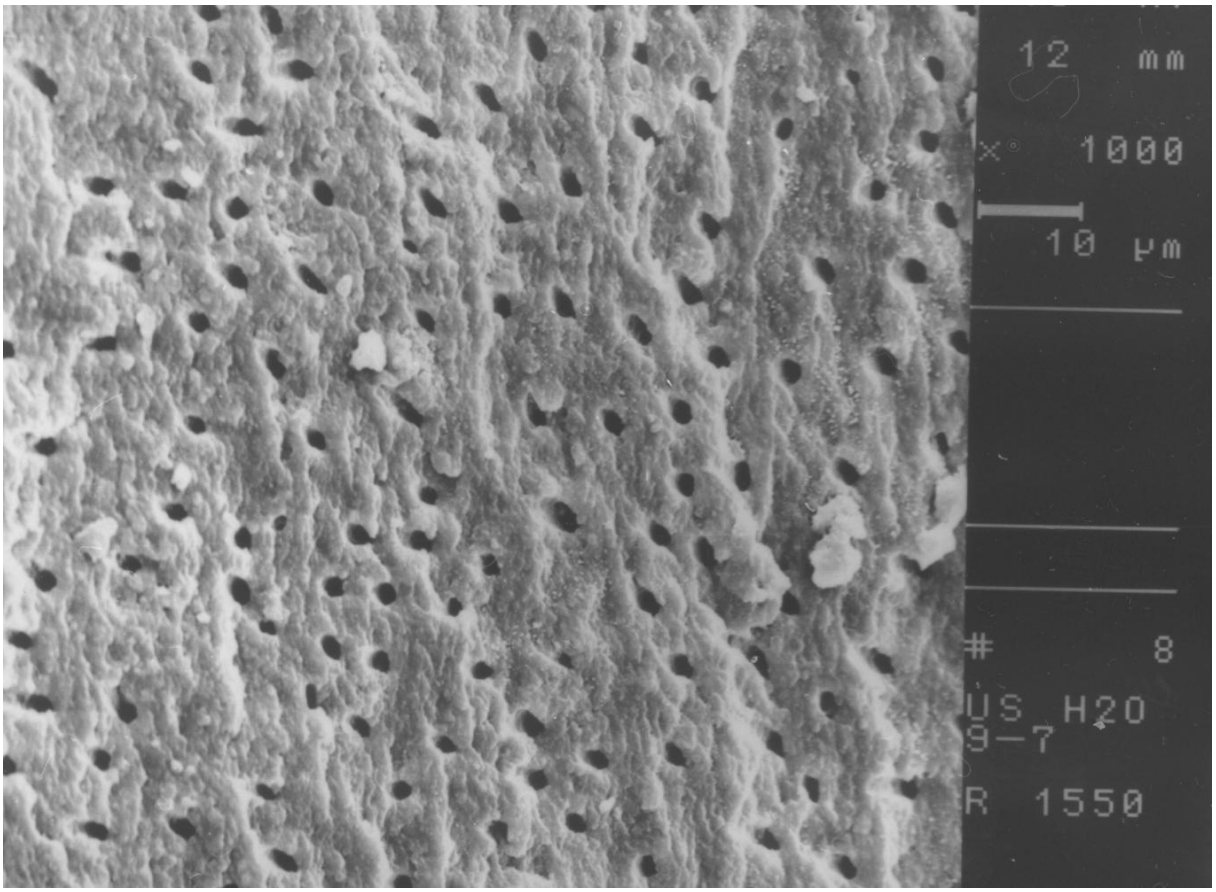


Abbildung 10: Smear Layer Score I: Keine oder fast keine Schmierschicht an der gesamten Wand, Dentintubuli überwiegend offen

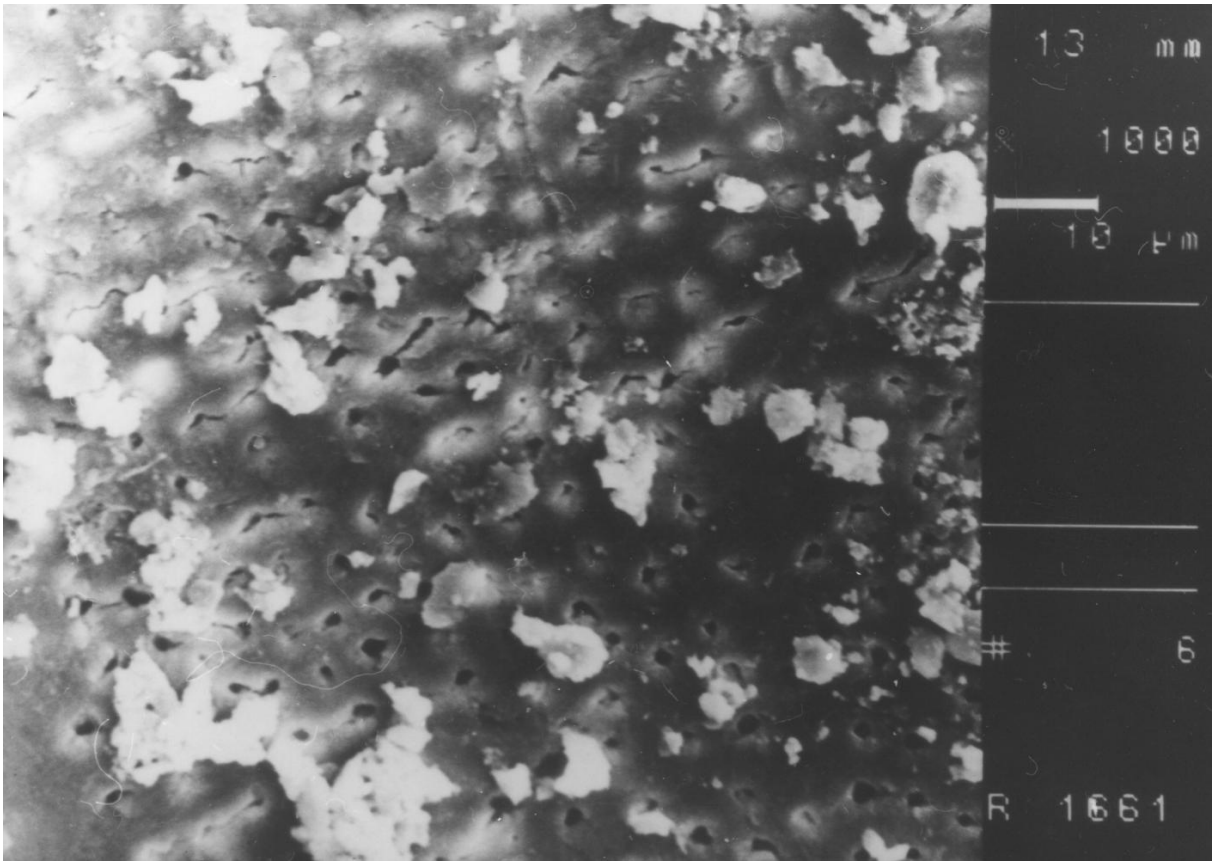


Abbildung 11: Smear Layer Score II: **Dünne, homogene, aber gleichmäßige Schmierschicht an der gesamten Wand, nur vereinzelt offene Dentintubuli**

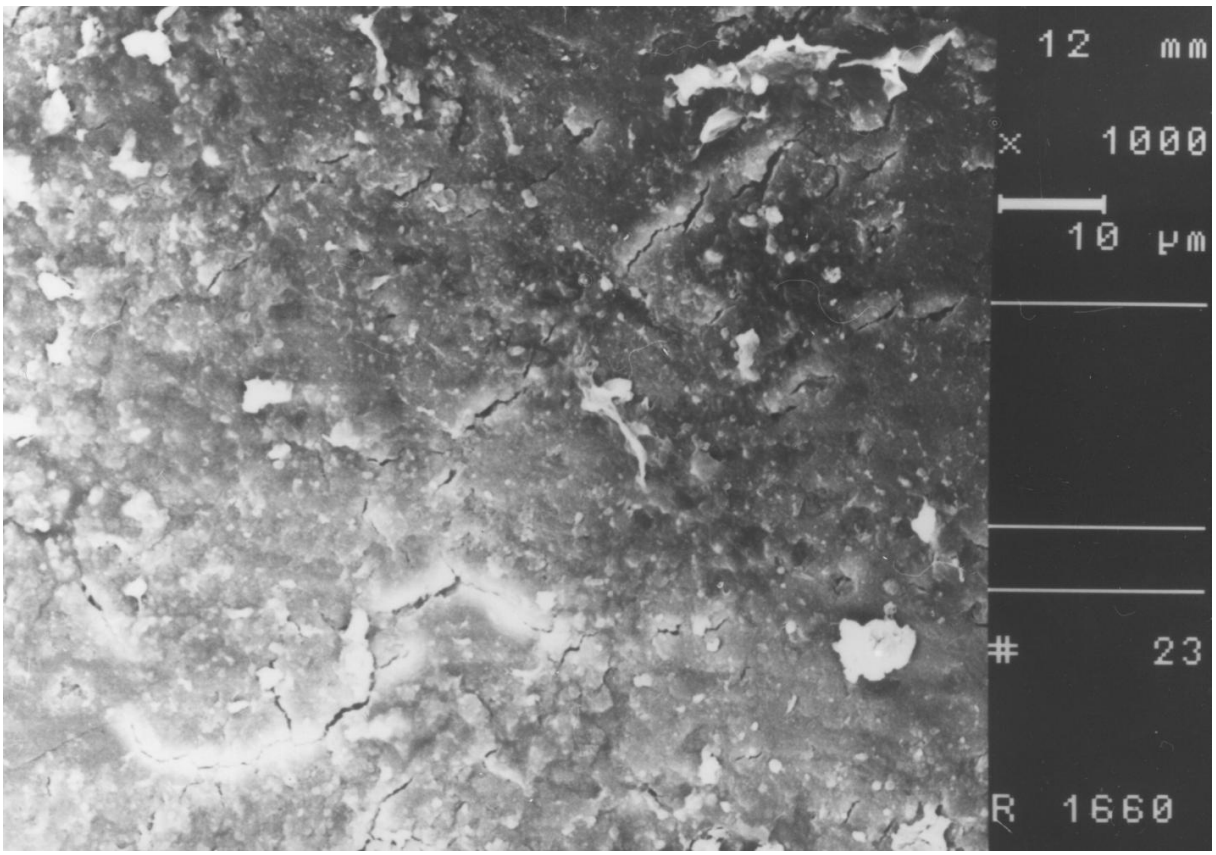


Abbildung 12: Smear Layer Score III: Gesamte Kanalwand von einer inhomogenen Schmierschicht bedeckt

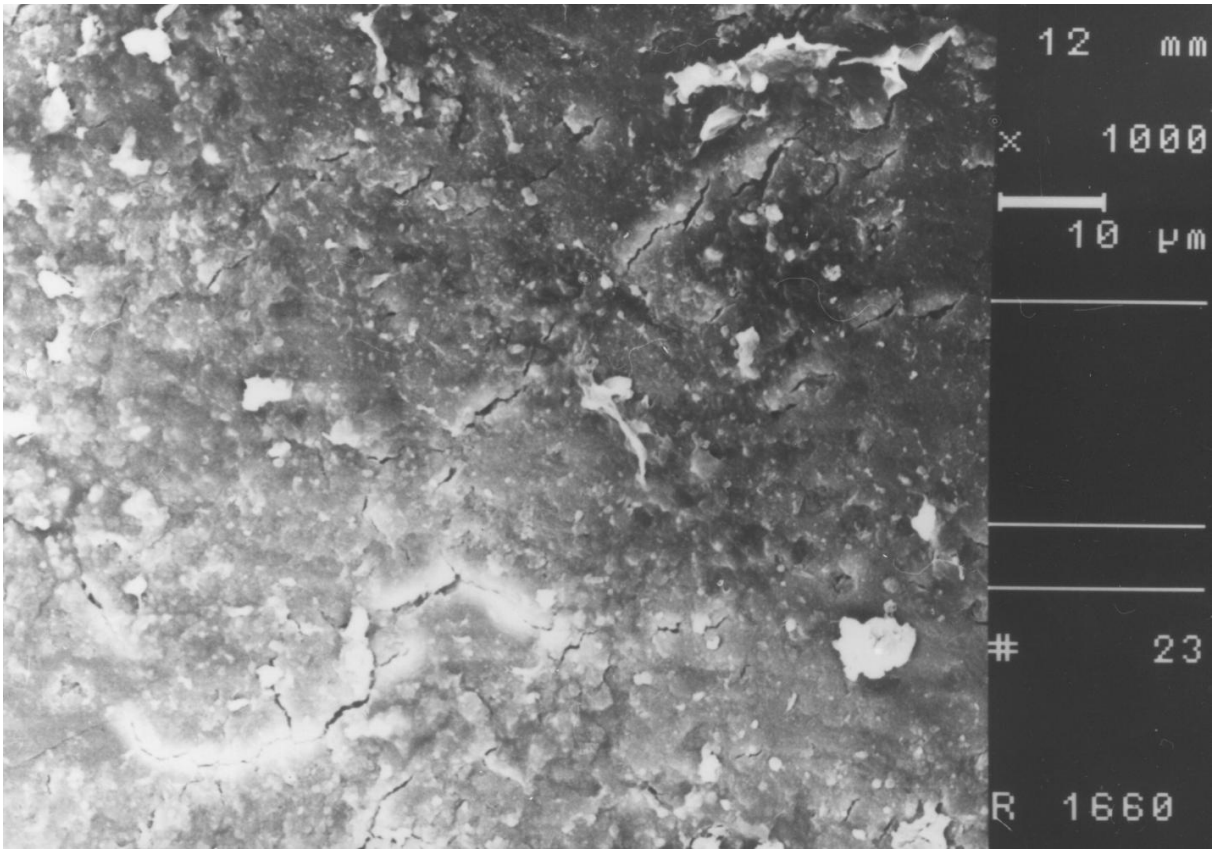


Abbildung 13: Smear Layer Score IV: Inhomogene Schmierschicht mit großen Debrisinseln an der gesamten Kanalwand

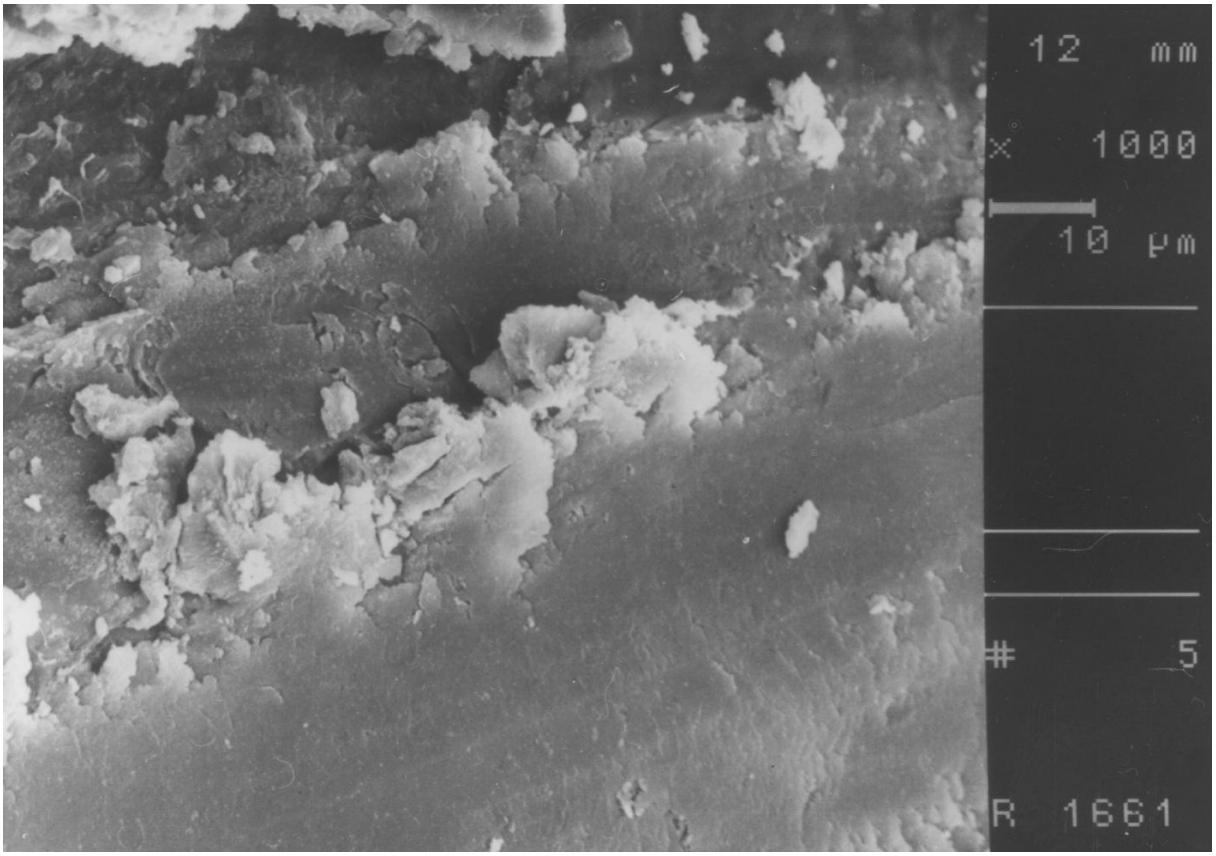


Abbildung 14: Smear Layer Score V: Kanalwand nicht bearbeitet, dichte, inhomogene Schmierschicht

Zu Beginn der Bewertung wurde bei 20facher Vergrößerung die zu bewertende Hälfte der Wurzelkanalwand (apikale oder koronale Hälfte) ausgewählt und anschließend die Vergrößerung auf 200x bzw. 1000x erhöht, so dass eine zufällige Fokussierung auf das zu bewertende Segment der Wurzelkanalwand erfolgte.

4.7 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der Gruppen wurden global mit dem Kruskal-Wallis-Test verglichen. Ergab sich eine Signifikanz für $p = 0,05$, so wurden man die entsprechenden 3er Gruppen verglichen. Waren diese ebenfalls signifikant, wurden jeweils mit dem Mann-Whitney-U-Test die jeweiligen 2er Gruppen verglichen. Hier war für $p = 0,05$ der Test signifikant. Ergab sich für p ein kleinerer Wert, so wurde die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese (Überlegene Reinigungswirkung des jeweiligen Aktivierungsgerätes) konnte angenommen werden.

5 Ergebnisse

Die statistische Auswertung erfolgte mit Statistika 8.0, die graphische Darstellungen mit Statistika 8.0 und mit Excel 2007.

5.1 Reinigungswirkung Debris

Die Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung für Debris wurden in Tabelle 3 zusammengefasst.

		Handspülung	Ultraschallaktivierung	EndoActivator	CanalBrush
Debris Grad		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
1	Koronal	12	13	16	13
	Apikal	12	6	9	5
2	Koronal	5	5	4	7
	Apikal	5	9	3	9
3	Koronal	3	2	0	0
	Apikal	1	3	6	4
4	Koronal	0	0	0	0
	Apikal	0	2	1	2
5	Koronal	0	0	0	0
	Apikal	2	0	1	0

Tabelle 3: Die Verteilung der ausgewerteten Bezirke nach Gruppen und Reinigungsgraden (1 Handspülung, 2 Ultraschallaktivierung, 3 EndoActivator, 4 CanalBrush)

In Abbildung 15 ist der koronale Box Plot dargestellt.

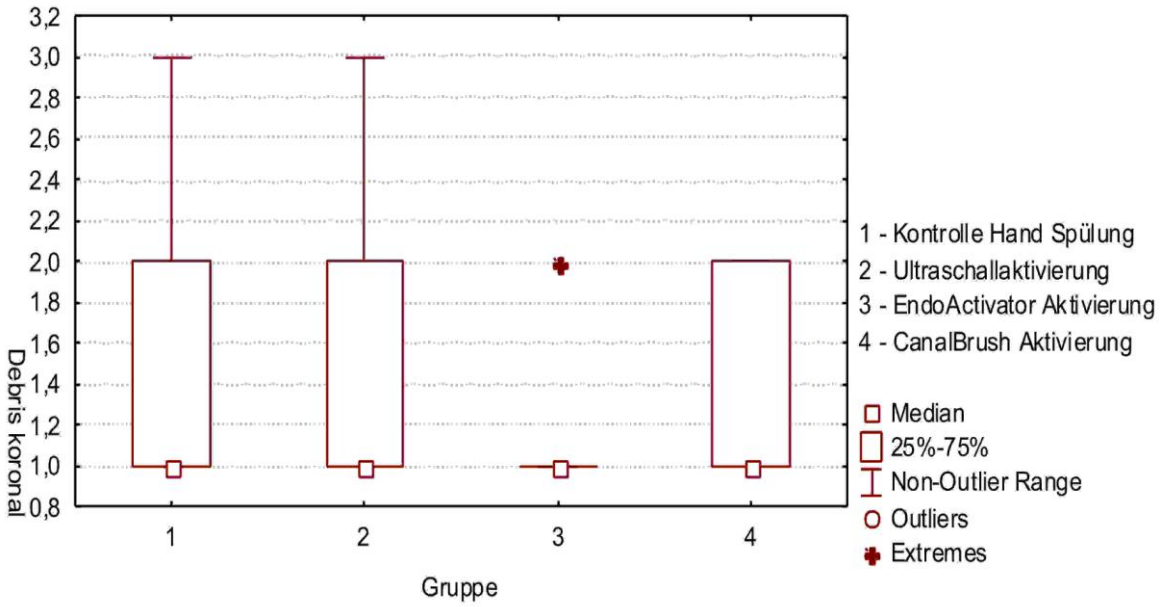


Abbildung 15: Verteilung der Werte für den Debris im koronalen Kanalanteil

Die Abbildung 15 zeigt, dass sich der Median des Reinigungsgrades in allen 4 Gruppen bei 1 befindet. Das bedeutet, dass es sich überwiegend um saubere Kanalwände mit nur wenigen Ansammlungen von Debris handelt. Weiterhin erkennt man, dass kein Wert schlechter als Grad III (weniger als 50 % der Kanalwände sind mit Debris bedeckt) ist. Nur in der EndoActivator-Gruppe weisen, mit vier Ausnahmen, alle Präparate den Reinigungsgrad 1 auf.

Die Werte für den apikalen Wurzelkanal sind in Abbildung 16 zu sehen. Hierbei liegt der Median in Gruppe 1 bei Grad I und der Median der Gruppen 2 bis 4 bei Grad II (einige wenige Ablagerungen von Debris). Zusätzlich gibt es in Gruppe 3 zunehmende Streuungen des Reinigungsgrades, da alle Ergebnisse von Grad I bis V vertreten sind. In der Gruppe 1 gibt es einen Extremwert mit dem Grad V (vollständig oder fast vollständig bedeckte Kanalwand mit Debris).

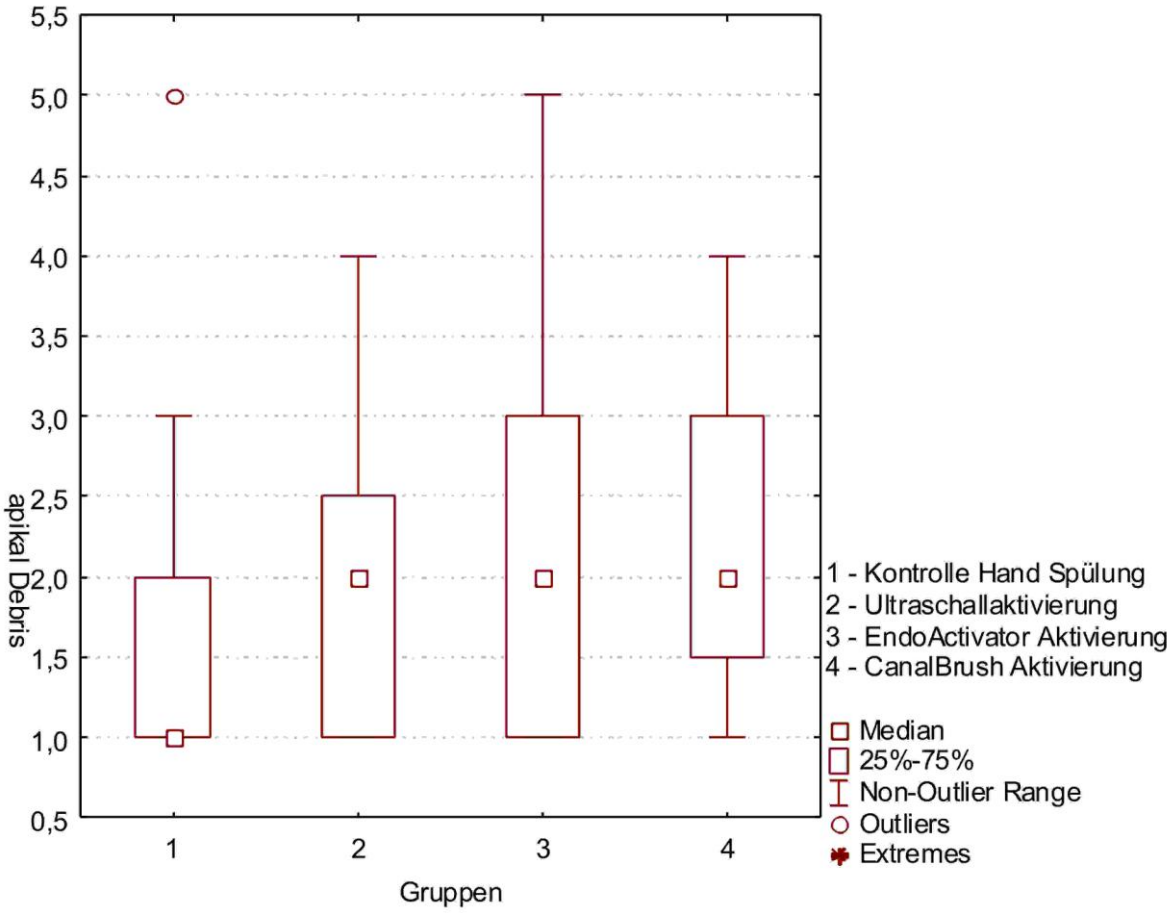


Abbildung 16: Verteilung der Werte für den Debris im apikalen Kanalanteil

Fasst man die Ergebnisse aus Tabelle 3 zusammen, erhält man die in Abbildung 17 dargestellten Ergebnisse. Dabei fällt auf, dass die Handspülung (Gruppe 1) und die CanalBrush (Gruppe 3) zu jeweils 85 % den Grad I und II erreichen. Dies zeigt, dass die Wurzelkanalwände mehrheitlich frei von Debris sind. Die Ultraschall- und EndoActivator-Gruppen (2 und 3) dagegen nur 68 % bzw. 81 % erreichen. Alle vier Gruppen weisen zu 95 % Grad I-III (saubere, glatte Kanalwand, nur vereinzelt Auflagerungen; wenige kleine Debrisinseln; zahlreiche Debrisinseln weniger als 50 % der Kanalwand von Debris bedeckt) auf.

Zusammenfassend kann man feststellen, das 80 % der bewerteten Kanalwandbezirke in den Gruppen 1, 3 und 4 den Reinigungsgrad I und II aufweisen. In der Gruppe 2 findet man mit 68 % für Grad I und II leicht schlechtere Werte. Das zeigt, dass nach Bearbeitung insgesamt von Debris weitestgehend freie Kanalwandoberflächen vorliegen.

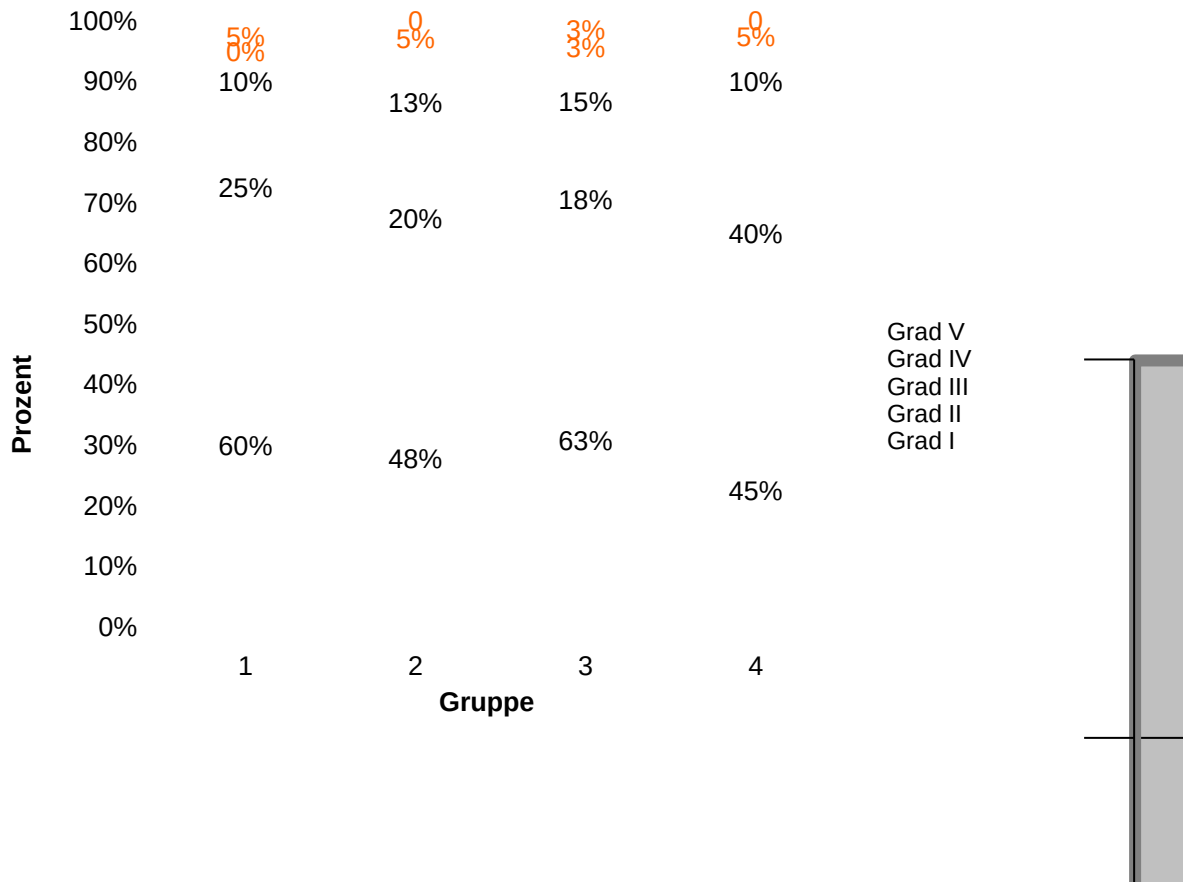


Abbildung 17: kumulierte (apikal und koronal) Werte für Debris

Die Abbildung 18 und die Abbildung 19 fassen die Resultate für den koronalen bzw. apikalen Wurzelkanalanteil zusammen. Es wird deutlich, dass koronal bessere Ergebnisse vorliegen als apikal.

In den Gruppen 3 und 4 sind ausschließlich der Reinigungsgrad I und II im koronalen Anteil vorhanden. Die Gruppen 1 und 2 weisen zusätzlich Grad III (viel Debris, aber weniger als 50 % der Oberfläche) auf.

Apikal fallen die Ergebnisse mit 60 % Grad I am besten für die Handspülung aus.

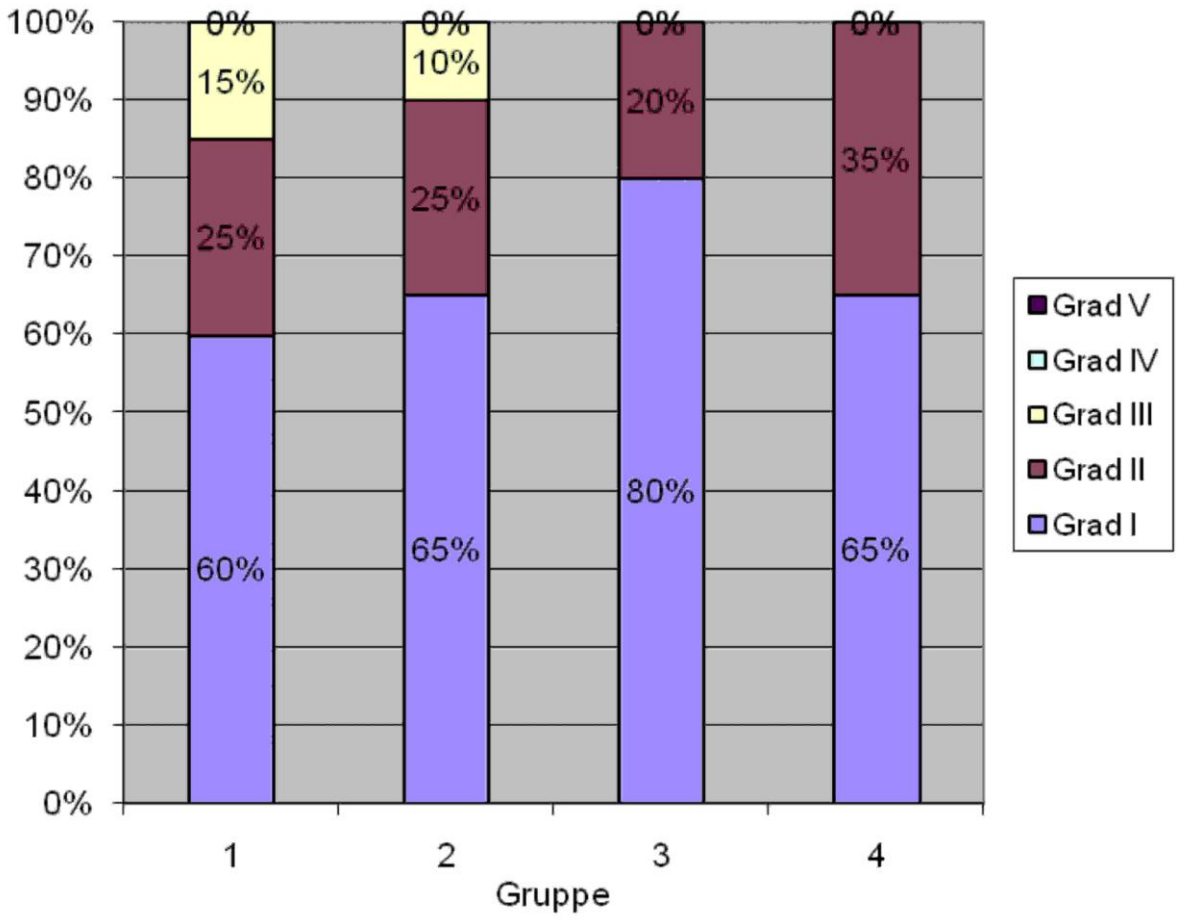


Abbildung 18: Werte für Debris im koronalen Kanalanteil

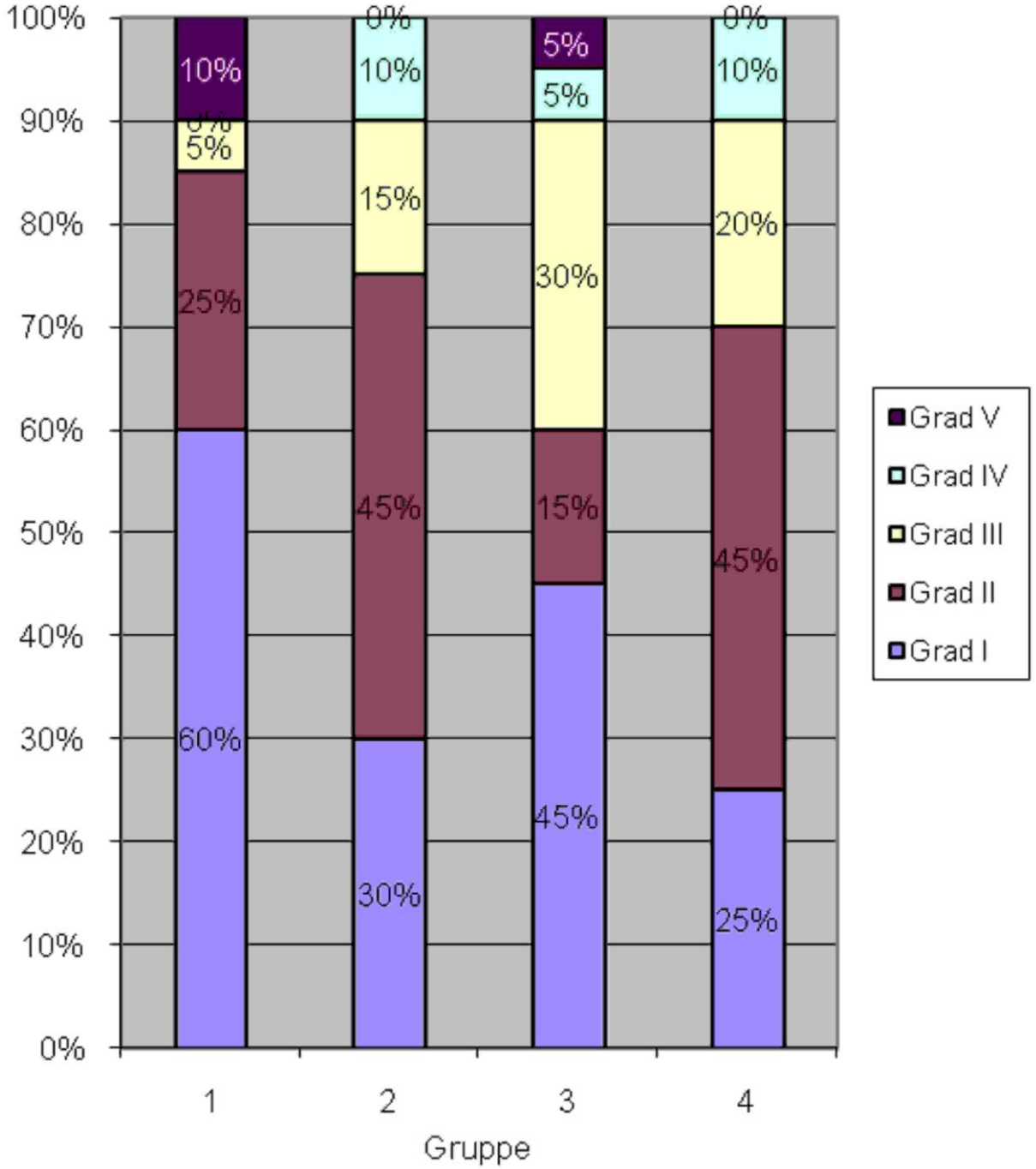


Abbildung 19: Werte für Debris im apikalen Kanalanteil

5.2 Reinigungswirkung Smear Layer

Die Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung für Smear Layer sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

		Handspülung	Ultraschallaktivierung	EndoActivator	CanalBrush
Smear Layer					
1	Koronal	6	9	17	9
	Apikal	1	2	2	4
2	Koronal	1	5	0	3
	Apikal	3	3	0	0
3	Koronal	3	3	1	4
	Apikal	2	3	2	2
4	Koronal	2	2	0	3
	Apikal	1	4	2	6
5	Koronal	8	1	2	1
	Apikal	13	8	14	8

Tabelle 4: Die Verteilung der ausgewerteten Bezirke nach Gruppen und Reinigungsgraden (Gruppen 1 (Handspülung), 2 (Ultraschallaktivierung), 3 (EndoActivator), 4 (CanalBrush))

In Abbildung 20 sind die Resultate für den koronalen Wurzelkanalanteil dargestellt.

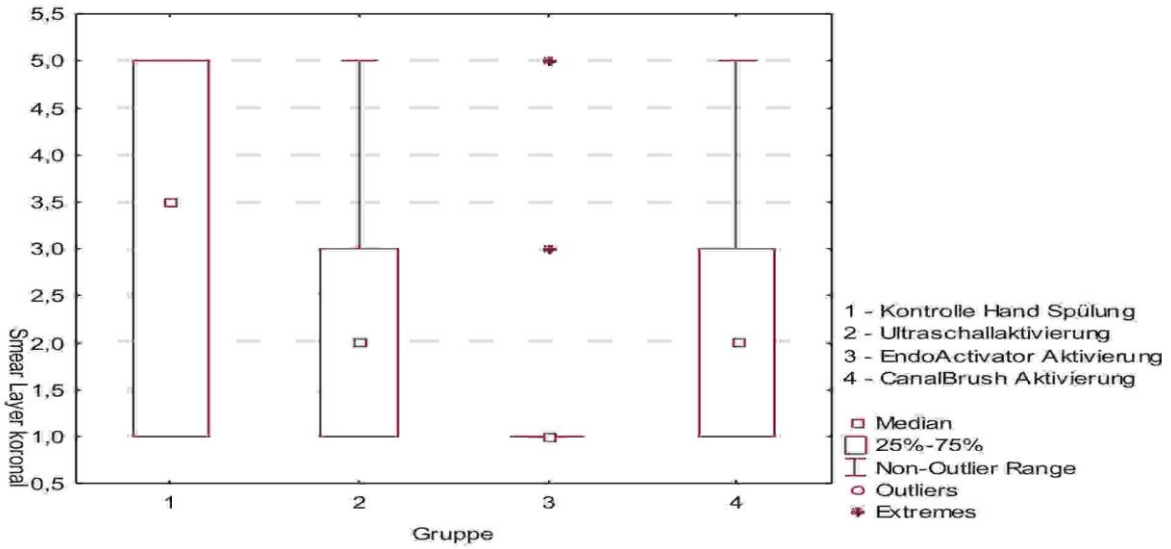


Abbildung 20: Verteilung der Werte für Smear Layer im koronalen Kanalanteil

Im koronalen Wurzelkanalanteil liegt für Gruppe 2 und 4 der Median bei 2, für Gruppe 3 bei 1 und für Gruppe 1 bei 3,5. Bis auf zwei Extreme liegt für den EndoActivator der beste Reinigungsgrad vor, keine Schmierschicht, die Dentintubuli sind offen. Die Handspülung ist deutlich schlechter bewertet. Im Median sind nur wenige freie Dentintubuli vorhanden, die Schmierschicht ist weitestgehend homogen bis hin zu einer homogenen vollständigen Schmierschicht (Grad IV).

Der apikale Anteil ist in Abbildung 21 dargestellt. Hier werden die Werte deutlich zum Reinigungsgrad 4 und 5 verschoben. Für die Gruppen 2 und 4 liegt der Median bei 4 (vollständige Schmierschicht ohne offene Dentintubuli), für die Gruppen 1 und 3 bei 5 (viel inhomogene Schmierschicht). Auffällig ist, dass sich in den Gruppen 1, 2 und 3 jeweils Ergebnisse bis zum Grad I (keine Schmierschicht) finden. Dagegen ist innerhalb der Gruppe 3 kein Wert unter Grad III (homogene Schmierschicht, wenige offene Dentintubuli).

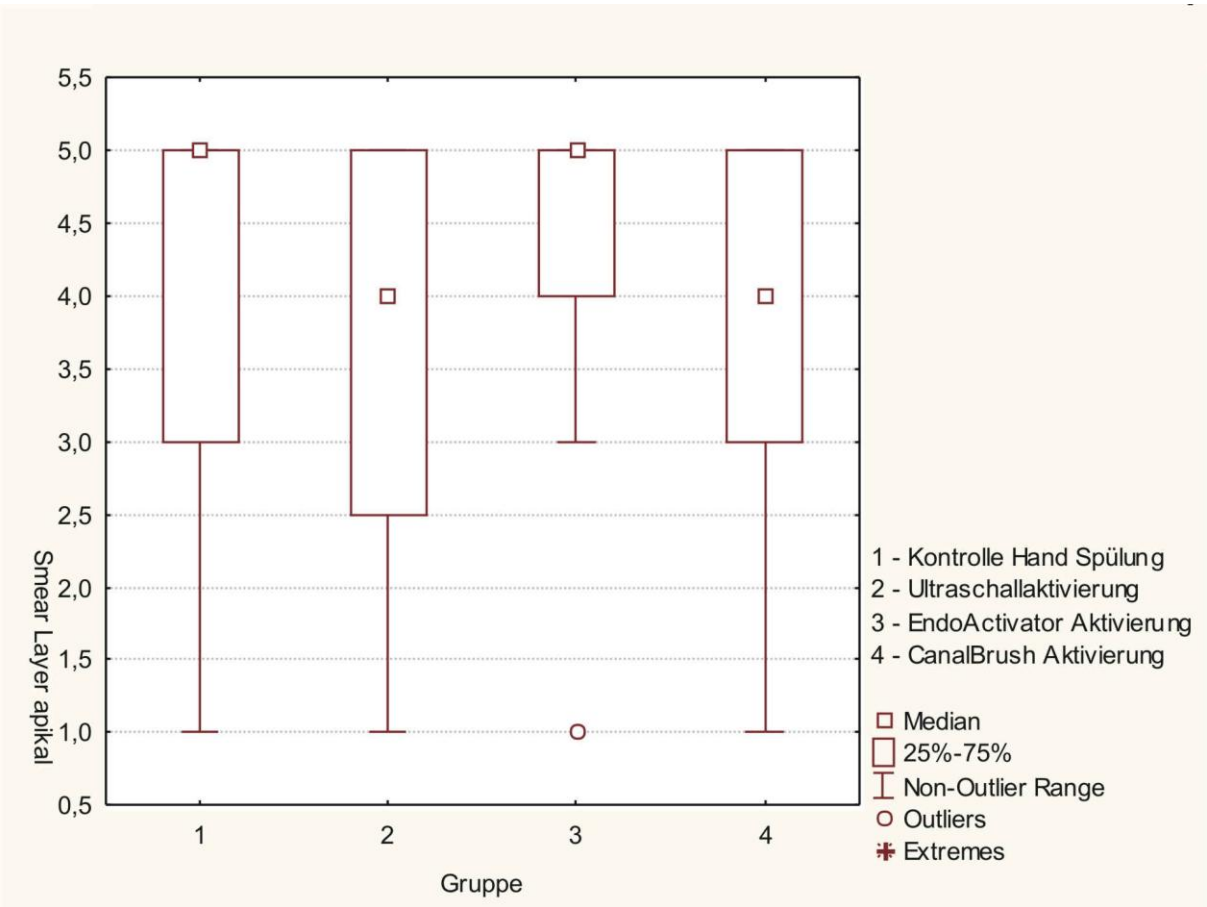


Abbildung 21: Verteilung der Werte für den Smear Layer im apikalen Wurzelkanalanteil

Die Zusammenfassung der Ergebnisse für die gesamte Kanalwand findet sich in Abbildung 22.

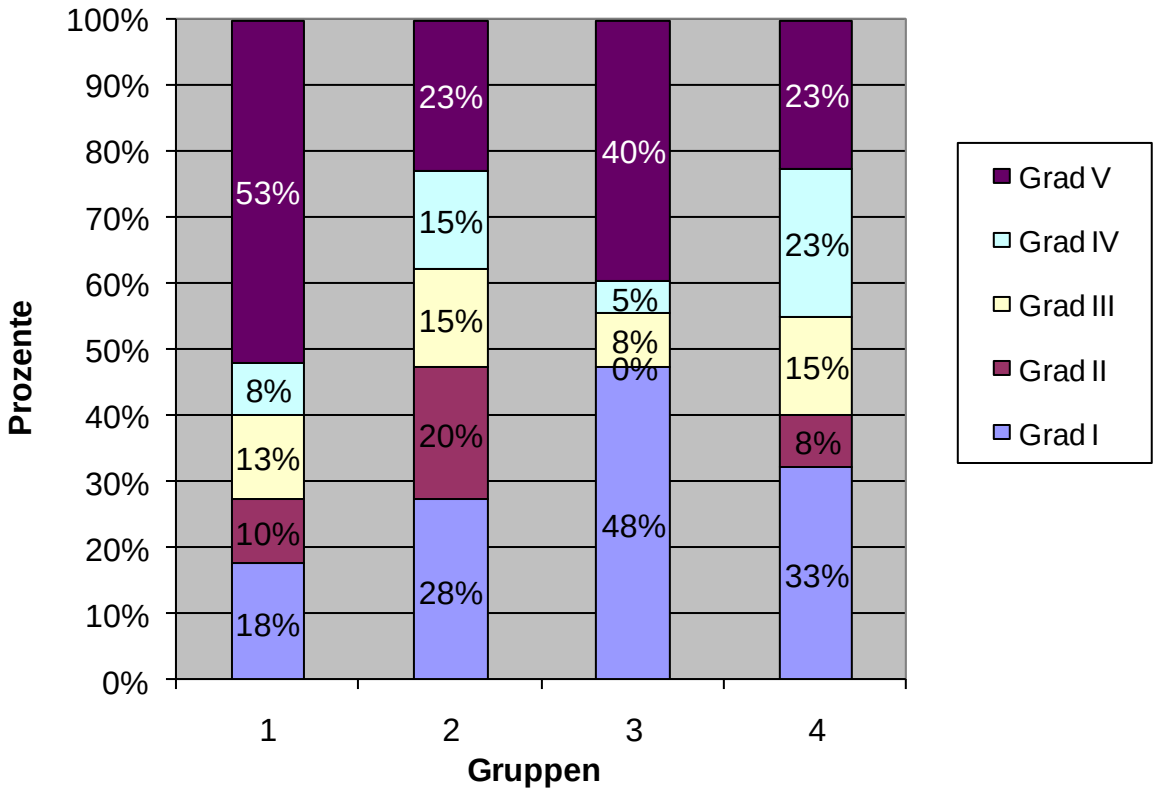


Abbildung 22: kumulierte (apikal und koronal) Werte für den Smear Layer (in Prozent je Gruppe)

In der Gruppe 3 entfallen 48 % der Werte auf Grad I. Fasst man die Reinigungsgrade I bis III zusammen, so ergibt sich, dass die Gruppen 1 bis 3 etwa gleiche Werte aufweisen (62 % Ultraschall, 56 % EndoActivator und 56 % CanalBrush).

Dabei ist die Gruppe 3 im koronalen Abschnitt signifikant (p = 0,003) sauberer als im apikalen Kanalanteil, allerdings fällt die Streuung des Ergebnisses deutlich größer aus als bei den Gruppen. Teilt man die kumulierten Werte in apikal und koronal auf, ergeben sich die Abbildung 23 und die Abbildung 24. Dabei stellt sich ein nicht signifikanter Unterschied von Ultraschall und CanalBrush dar. Beide Gruppen wurden im apikalen Anteil jeweils 40 % Grad V bewertet (viel inhomogene Schmierschicht). Die Handspülung und der EndoActivator wurden dagegen 65% bzw. 70% mit Grad V

bewertet. Der prozentuale Anteil an Grad I (keine Schmierschicht, offene Dentintubuli) ist bei der CanalBrush mit 20 % doppelt so hoch wie bei Ultraschall und EndoActivator. Für die Ultraschall- und die CanalBrush-Gruppe verbleiben jeweils 40 % Reinigungsgrad V (Kanalwand nicht bearbeitet, dichte, inhomogene Schmierschicht). Für die Handspülung und den EndoActivator liegt der Wert bei 65 % bzw. 70 %.

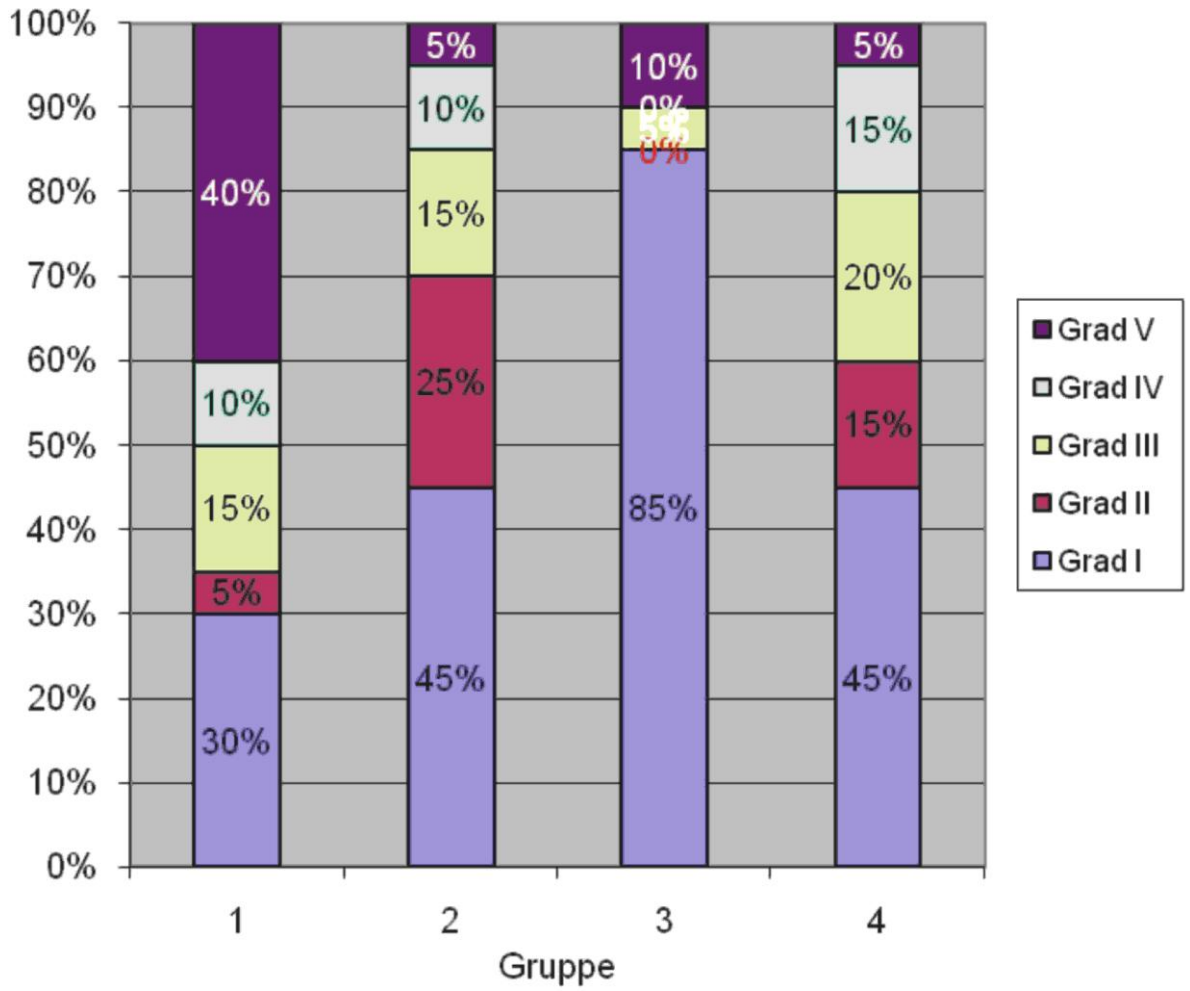


Abbildung 23: Smear Layer koronal (in Prozent je Gruppe)

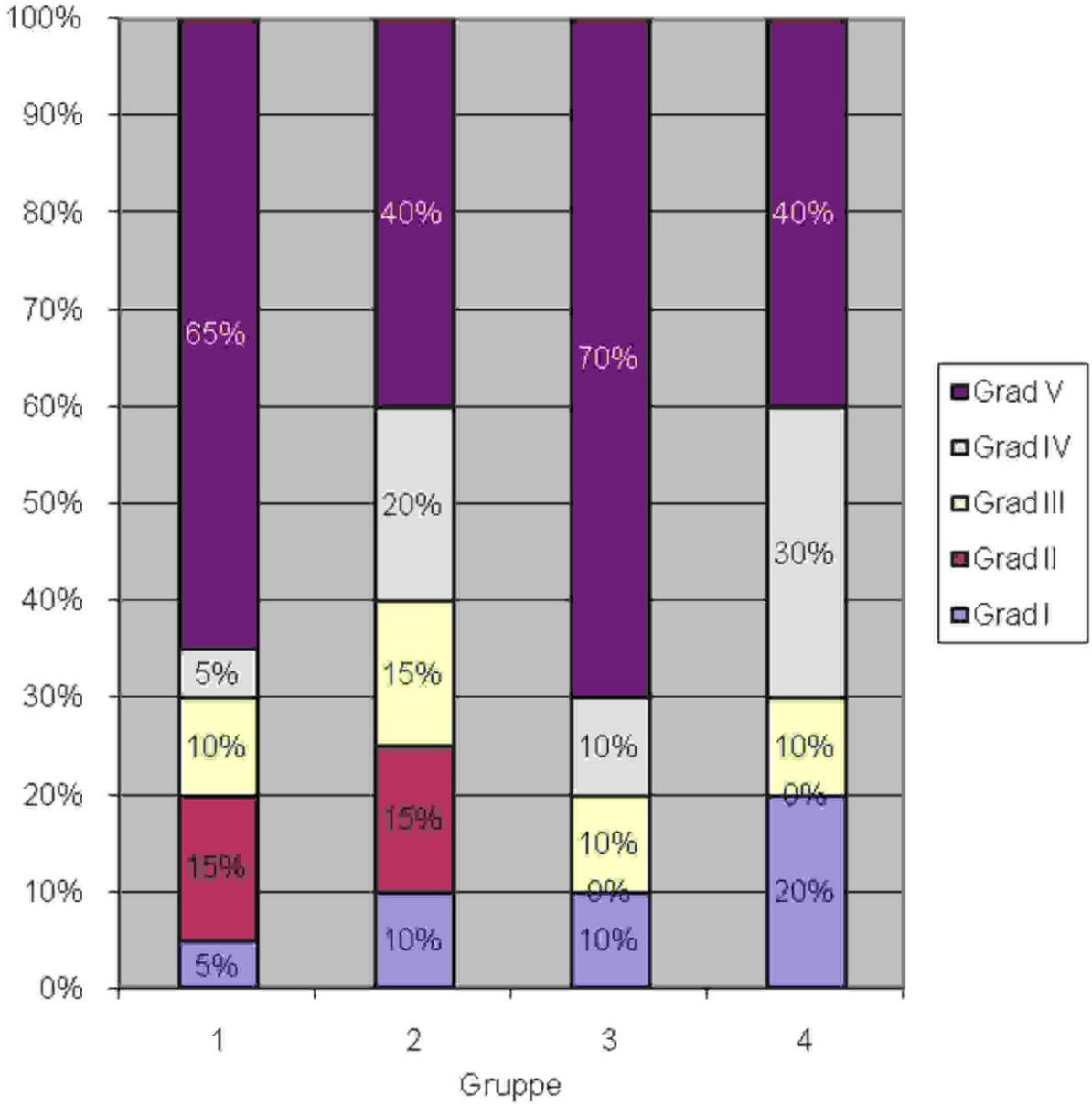


Abbildung 24: Smear Layer apikal in Prozent je Gruppe

5.3 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 1 – Hand-Spülung

5.3.1 Debris

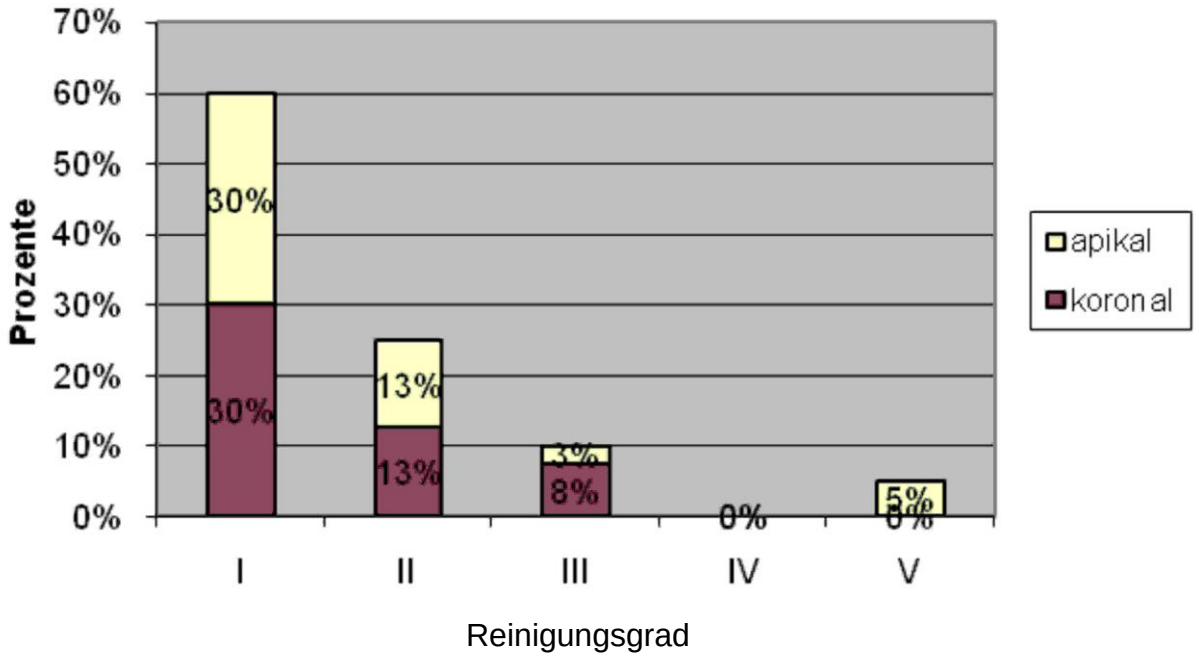


Abbildung 25: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Debris in Gruppe 1

86 % der Wurzelkanaloberflächen sind mit Reinigungsgrad I und II (saubere Wurzeloberflächen oder wenig Debris) bewertet. Es entfallen lediglich 14 % auf den Reinigungsgrad III und V, wobei bei 2 Proben apikal die gesamte Kanalwand mit Debrisschicht bedeckt ist.

5.3.2 Smear Layer

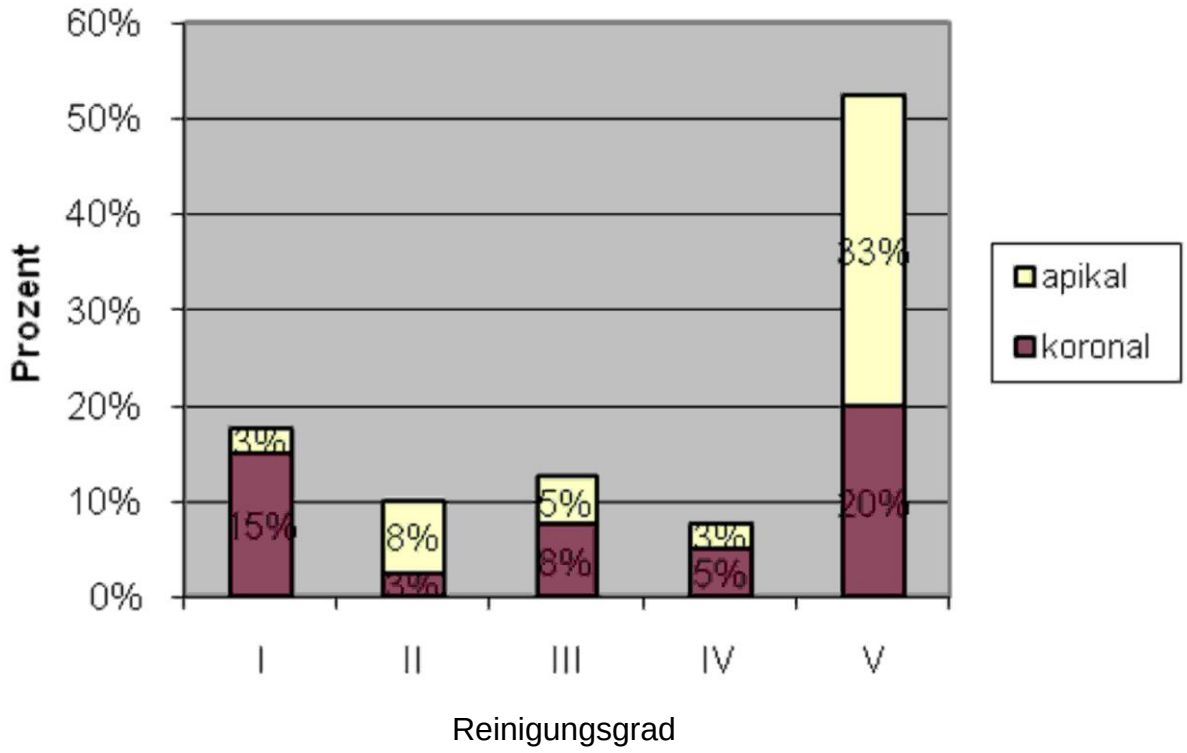


Abbildung 26: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Smear Layer in Gruppe 1

Insgesamt sind 53 % der Wurzelkanaloberfläche nicht bearbeitet und mit dichter inhomogener Schmierschicht belegt, der größere Anteil von 33 % ist dabei apikal gelegen.

5.4 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 2 - Ultraschallaktivierung

5.4.1 Debris

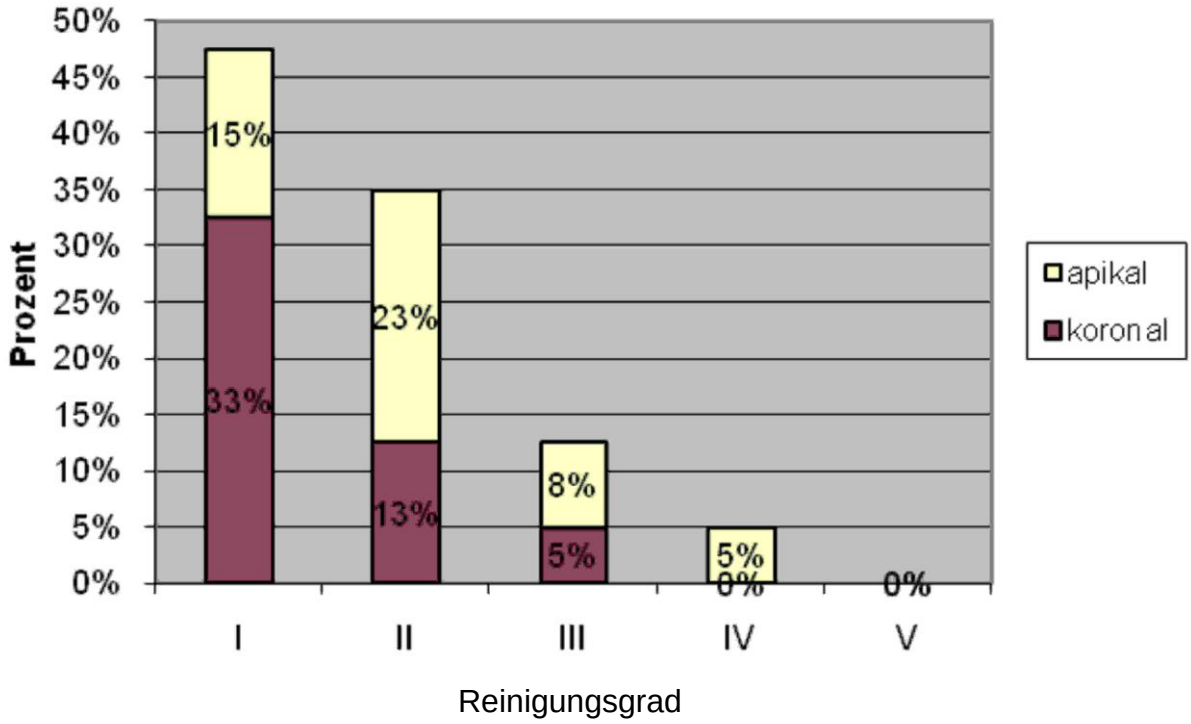


Abbildung 27: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Debris in Gruppe 2

5.4.2 Smear Layer

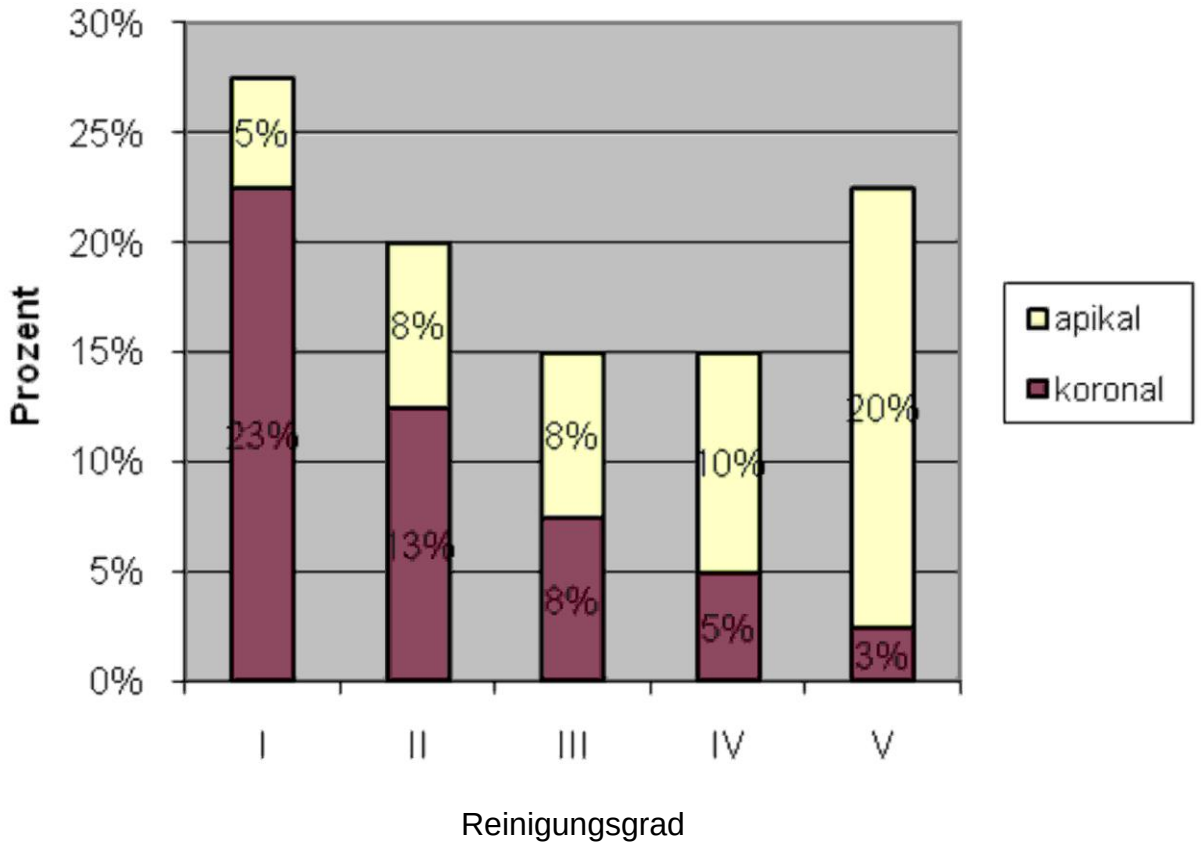


Abbildung 28: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Smear Layer in Gruppe 2

Im Vergleich zur Gruppe 1 entsteht sowohl beim Debris wie auch beim Smear Layer eine Verschiebung hin zu Grad I.

5.5 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 3 - EndoActivator

5.5.1 Debris

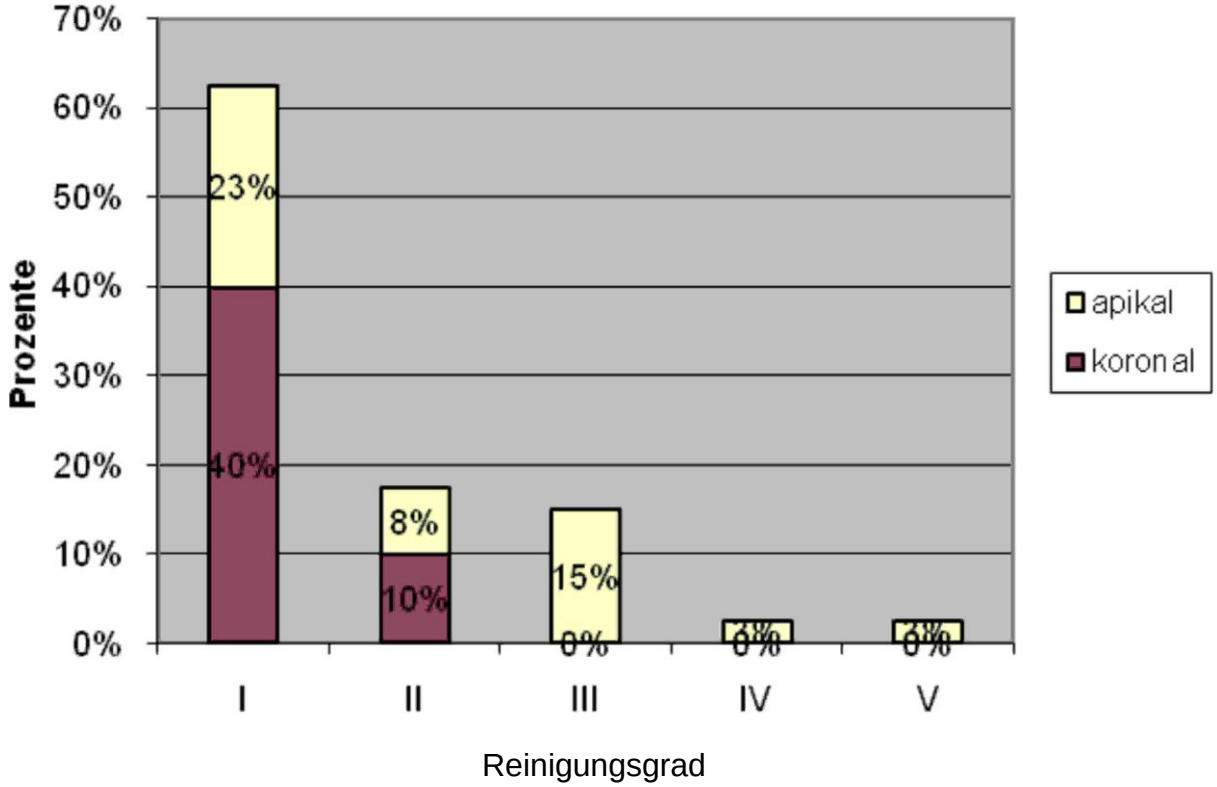


Abbildung 29: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Debris in Gruppe 3

Es verbleiben 63 % an Reinigungsgrad I kumuliert apikal und koronal. Insgesamt stellen sich 91 % der Wurzelkanalwandoberfläche als saubere und glatte Kanalwand mit kleinen wenigen Debrisinseln dar.

5.5.2 Smear Layer

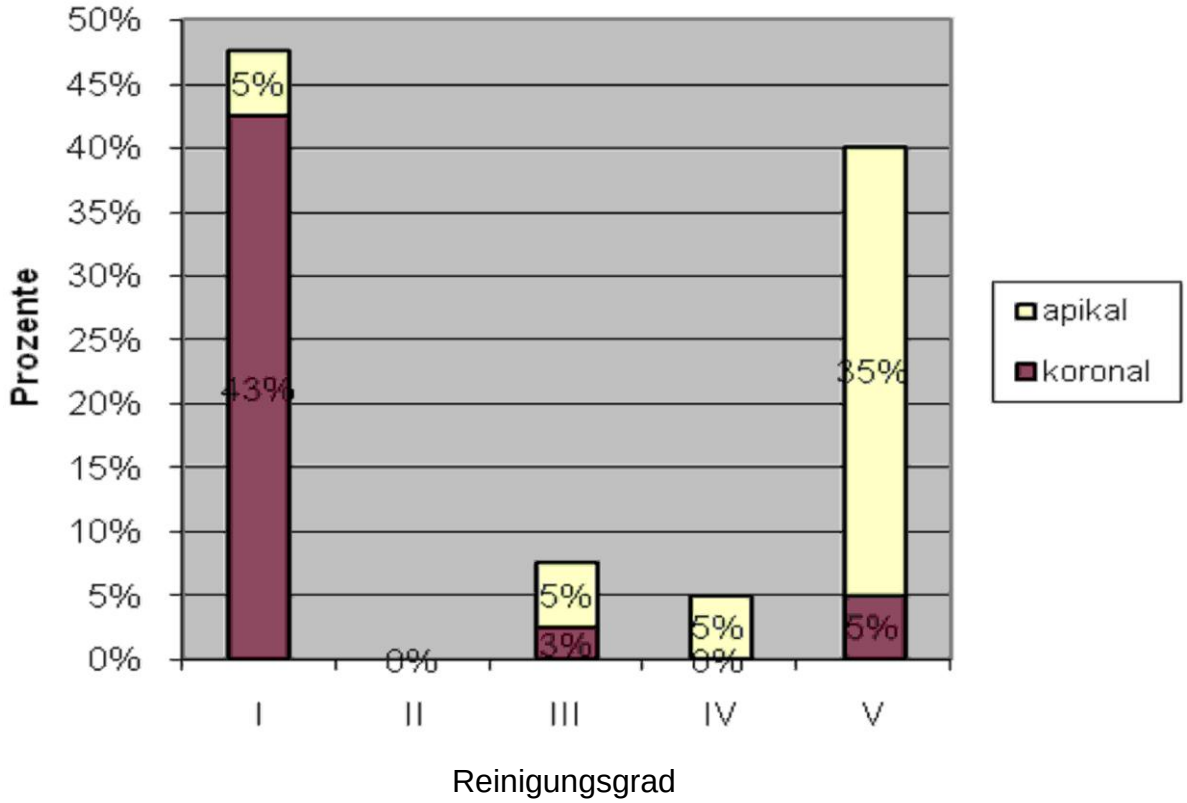


Abbildung 30: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Smear Layer in Gruppe 3

Der apikale Anteil an Reinigungsgrad V ist größer als bei Gruppe 1. Man erkennt eine Tendenz hin zur Teilung des Ergebnisses in etwa 50 % Reinigungsgrad I und die andere Hälfte Grad III – V. Auffällig ist, dass koronal saubere Bereiche entstehen als in den anderen drei Gruppen, apikal jedoch ist schlechter gereinigt.

5.6 Reinigungswirkung innerhalb Gruppe 4 - CanalBrush

5.6.1 Debris

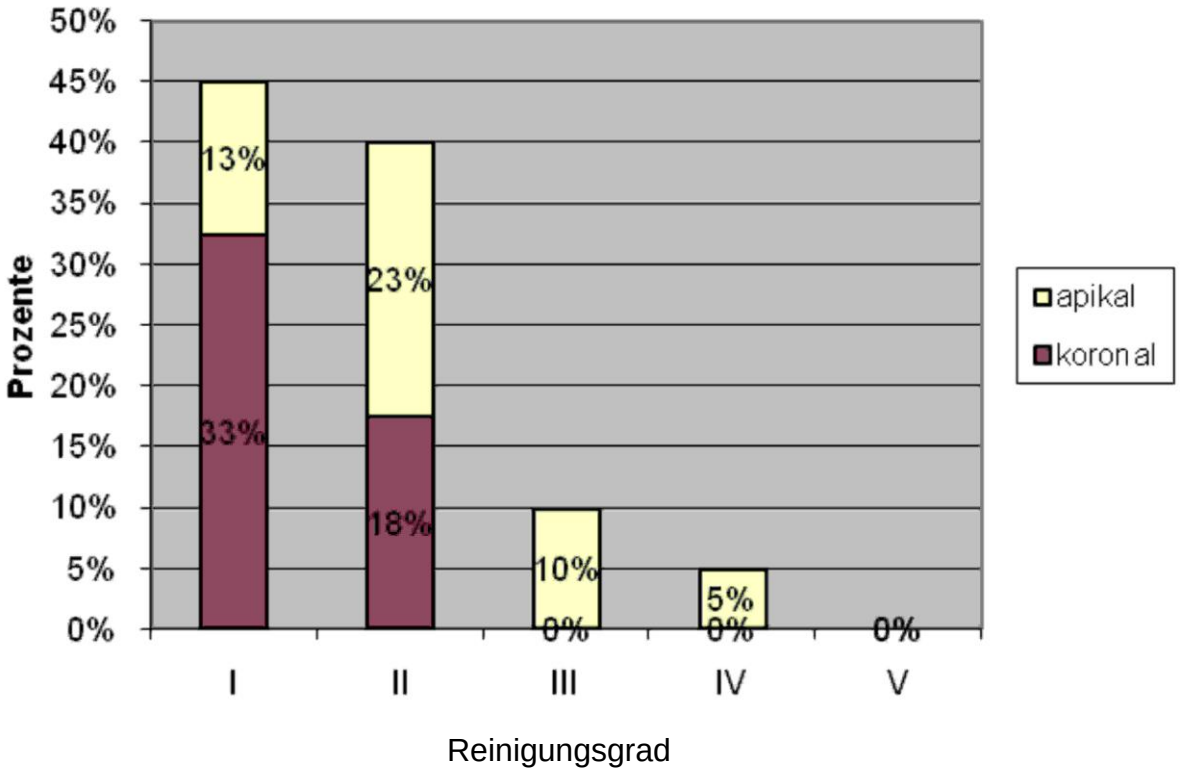


Abbildung 31: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Debris in Gruppe 4

Insgesamt 84 % der Kanalwandoberfläche bestehen aus Grad I und II (saubere und glatte Kanalwand mit wenigen kleinen Debrisinseln). Insbesondere der apikale Anteil ist prozentual fast genauso gut gereinigt wie der koronale. Für Reinigungsgrad II übertrifft der apikale Wert sogar den koronalen Wert.

5.6.2 Smear Layer

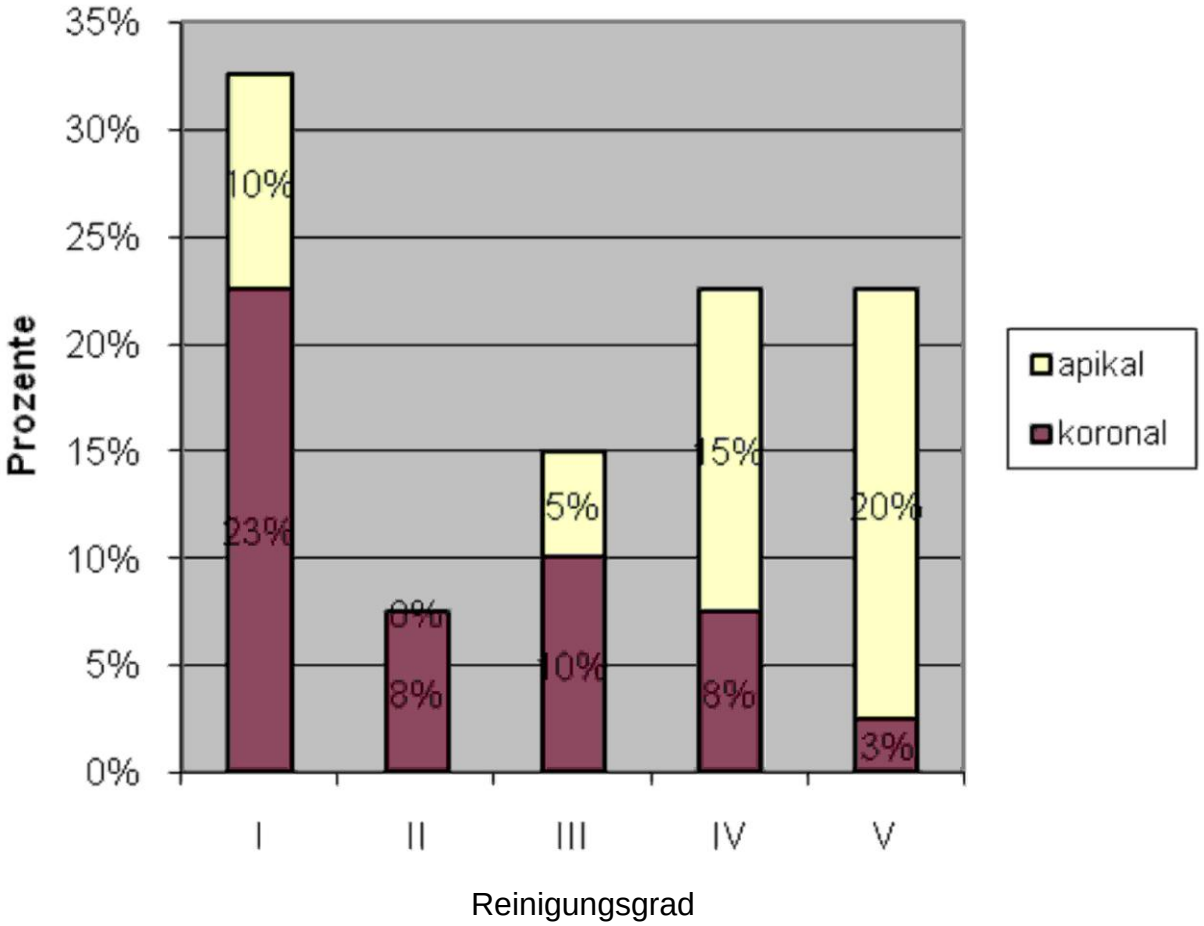


Abbildung 32: Verteilung der Reinigungsgrade I bis V für Smear Layer in Gruppe 4

Man erkennt koronal bessere Werte als apikal bei den Reinigungsgraden. 10 % sind apikal Grad I und II. 31 % sind koronal Grad I und II. Im Vergleich sind 35 % apikal Grad IV und V. 11 % sind koronal Grad IV und V. Koronal ist die Reinigung mit der CanalBrush leichter und effektiver.

5.7 Statistik

Zunächst wurde über die Gesamtheit der gereinigten Wurzelkanäle geprüft, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen gab (Kruskal Wallis Test).

Die Überprüfung des Debris im koronalen und apikalen Anteil ergab keine statistische Signifikanz.

Die Überprüfung der Gesamtheit der Schmierschicht ergab, dass alle Aktivierungsgeräte signifikant besser abschneiden als die dynamische Handspülung. Dabei sind EndoActivator und Ultraschall etwa gleich effektiv. Für den p <= 0,05 gilt, dass ist die Gesamtheit der Schmierschicht besser entfernt worden ist als durch die dynamische Handspülung (Kontrollgruppe).

Gesamtheit Smear Layer	Handspülung	Ultraschallaktivierung	EndoActivator	Canal Brush
Handspülung				
Ultraschallaktivierung	**p = 0,026859**			
EndoActivator	**p = 0,027270**			
CanalBrush	**p = 0,043996**			

Tabelle 5: Gesamtheit Smear Layer (Mann-Whitney U Test) signifikant für p=0,05

Signifikante Unterschiede im koronalen Anteil sind in Tabelle 6 dargestellt.

Smear Layer koronal	Handspülung	Ultraschallaktivierung	EndoActivator	Canal Brush
Handspülung				
Ultraschallaktivierung	**p = 0,037265**			
EndoActivator	**p = 0,003336**	**p = 0,028086**		
CanalBrush	**p = 0,047763**		**p = 0,024872**	

Tabelle 6: Smear Layer koronal (Mann-Whitney U Test) signifikant für p= 0,05

Vergleicht man die Gruppen paarweise mit dem Mann-Whitney-U-Test im koronalen Bereich für die Schmierschicht, so zeigt sich, dass die Nullhypothese im direkten Vergleich der Gruppen verworfen werden kann. Es zeigte sich, dass alle Aktivierungsgeräte signifikant besser die Schmierschicht entfernen, als die dynamische Handspülung. Der EndoActivator ist dabei mit dem Wert von p = 0,003336 um eine Zehnerpotenz besser als Ultraschallaktivierung und die CanalBrush. Vergleicht manweiter den EndoActivator mit der Gruppe 2 und 4, so zeigt sich, dass der EndoActivator signifikant besser die Schmierschicht entfernt. Damit kann die Alternativhypothese als richtig angenommen werden. Der EndoActivator entfernt im koronalen Bereich die Schmierschicht besser, als die anderen drei Alternativen.

Tabelle 7 fasst die statistischen Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Test für den apikalen Anteil zusammen. Es fällt auf, dass hier keine Signifikanz für p = 0,05 vorliegt. Keines der Aktivierungsgeräte entfernt besser die Schmierschicht. Die Nullhypothese muss angenommen werden, die dynamische Handspülung ist apikal gleichwertig bei der Schmierschichtentfernung wie die verwendeten Aktivierungsgeräte.

Smear Layer apikal	Handspülung	Ultraschallaktivierung	EndoActivator	Canal Brush
Handspülung				
Ultraschallaktivierung	p=0,211913			
EndoActivator	p=0,725100	p=0,110500		
CanalBrush	p=0,267408	p=0,892414	p=0,129823	

Tabelle 7: Smear Layer apikal (Mann-Whitney U Test) p=0,05

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der EndoActivator bei der Abschlussspülung im koronalen Anteil am besten reinigt. Der EndoActivator schneidet signifikant besser ab (p = 0,028086) als die Ultraschall aktivierte Abschlussspülung.

Allerdings gilt dies nicht für den apikalen Anteil des Wurzelkanals. Prozentual ist die CanalBrush dem EndoActivator im apikalen Anteil überlegen. Statistisch ist dies aber

nicht belegbar, es ergibt sich keine Signifikanz für p = 0,05; der Wert liegt bei p = 0,129823.

Generell ist die Aktivierung der Abschlussspülung signifikant besser als die dynamische Handspülung, unabhängig von der Art der Aktivierung. Die fehlende Signifikanz bei der Entfernung des Debris lässt auf eine insgesamt sehr gute Entfernung des Debris durch alle Abschlussspülungen schließen.

Der EndoActivator ist im koronalen Anteil in der Entfernung der Schmierschicht allen anderen Methoden überlegen.

6 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung zweier neuer Aktivierungssysteme für die Spüllösungen bei der Wurzelkanaldesinfektion. Der EndoActivator und die CanalBrush wurden der Ultraschallaktivierung und der dynamischen Handspülung gegenüber gestellt. Die Untersuchung bewertet das Ergebnis der abschließenden Spülung, die nach Beendigung der Wurzelkanalaufbereitung durchgeführt wurde (Hülsmann et al. 2001). Die Studie wurde unter weitestgehend standardisierten Bedingungen durchgeführt, um einen objektiveren Vergleich der Reinigung und Desinfektion durch die verschiedenen Aktivierungsmethoden zu gewährleisten.

6.1 Herstellung der Präparate

Das verwendete Untersuchungsmaterial bestand aus extrahierten Unterkiefermolaren, die auch in vergleichbaren Untersuchungen (Archer et al. 1992, Goodman et al. 1985, Gutarts et al. 2005, Hülsmann et al. 2003a, Hülsmann et al. 2003c, Hülsmann et al. 2001, Imura et al. 2007, Mandel et al. 1990, Metzler und Montgomery 1989, Rollison et al. 2002, Stamos et al. 1987) Verwendung fanden.

Die Erzeugung und Entfernung der Schmierschicht kann nur an extrahierten Zähnen realitätsnah geprüft werden. Für die Auswahl des Untersuchungsmaterials sollten die vorhandene Restsubstanz und die relative Zerstörungsfreiheit des einzelnen Zahnes entscheidend sein. Genauso wichtig waren ein unbehandeltes Foramen physiologicum sowie ein abgeschlossenes Wurzelwachstum.

Um die Untersuchungsgruppe weiter zu homogenisieren, wurden nur Zähne verwendet, deren Hauptwurzelkanal mäßig oder stark gekrümmt war. Die Arbeitslänge wurde durch Kürzen von koronal auf 19 mm vereinheitlicht (Abbott et al. 1991, Aktener und Bilkay 1993, Rödig et al. 2007).

Die Vorbereitung des Untersuchungsmaterials begann mit der Codierung der Proben. Die Proben wurden in Anlehnung an Hülsmann (2003c) zweifach randomisiert, um eine einfach blinde und wertfreie REM Untersuchung zu ermöglichen. Um die Vergleichbarkeit der Gruppen zu verbessern und die anatomische Streuung zu reduzieren, erfolgte die Zuordnung zu den Gruppen 1 bis 4 nach einem im Gruppendurchschnitt etwa gleichen Krümmungswinkel der Wurzel (Goodman et al. 1985, Hülsmann et al. 2003c).

Es ist notwendig, die Präparate bis zur Untersuchung zu konservieren und feucht zu halten. Dies wird durch Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung oder aqua destillata ermöglicht. Die Aufbewahrung in fixierenden oder desinfizierenden Flüssigkeiten könnte die Ausgangsbedingungen bereits vor Versuchsbeginn so verändern, dass eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien nicht mehr gegeben wäre. Die Aufbewahrung der Proben erfolgte in wiederverschließbaren dichten Polyethylenbehältern.

Nach Littmann (1977) ist die Arbeitsleistung des Behandlers die einflussreichste Größe der Wurzelkanalreinigung. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, dass mehrere Behandler bei der Erstellung der Präparate mitwirkten.

Die Erweiterung des mesio-bukkalen Wurzelkanals erfolgte Hilfe des FlexMaster NiTi-Systems bis zur Größe .02/40. Dies ist nach Ram (1970) die Mindestgröße, um den apikalen Kanalanteil erfolgreich spülen zu können. NiTi-Systeme werden in der Literatur unterschiedlich diskutiert. Manche Autoren fanden eine bessere Reinigung mit maschinellen Systemen (Di Lenarda et al. 2000, Hülsmann und Bluhm 2004), andere Autoren stellten keinen Unterschied zur manuellen Erweiterung fest (Bechelli et. al. 1999, Dalton et al. 1998).

Die Präparation der Wurzelkanäle erfolgte ohne Anwendung eines Chelators, um die Schmierschicht erst einmal zu erzeugen. Die Einwirkzeit der Agenzien während der Abschlussspülung wurde auf insgesamt 240 Sekunden begrenzt.

Alle Spülungen wurden mit einer Kanüle der ISO-Größe 30 vorgenommen. Die immer gleiche Applikation der Spüllösung zwischen den Aufbereitungsschritten

erzeugte stets die gleiche Hydrodynamik im Wurzelkanal. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied in der Entfernung des Debris bei allen vier Gruppen. Zu dem gleichen Resultat kommen Mayer et al. (2002). 1975 zeigten Baker Na et. al., dass die Debrisentfernung eine Funktion des Volums ist. So fordern Hülsmann (2006), Schäfer (2007) und Zehnder (2006) wiederholt eine ausreichende Spülmenge. Man kann als Ergebnis der vorliegenden Untersuchung festhalten, dass bei gründlicher Präparation bis Taper .02 ISO 40 und einem Spülvolumen von 3 ml NaOCl 3 % je Aufbereitungsinstrument eine zu 50% von Debris befreie Kanalwand, zurückbleibt. Dieses Ergebnis zeigte sich unabhängig von der Art der Aktivierung der Abschlussspülung.

Zur Durchführung der Experimente wurde die Gesamtspülzeit je Agens auf 120 Sekunden festgelegt. Nach Çalt und Serper (2002) führt die Applikation von EDTA für eine Minute bereits zu vollständigen Smear Layer Entfernung. Dies steht in Kontrast zu der Untersuchung von Cergneux et al. (1987), die zur Schmierschichtentfernung 4 Minuten benötigten.

Bei der Versuchsdurchführung wurde auf eine gleichmäßige Präparation der Gruppen geachtet. Die Experimente wurden beginnend mit einem Präparat der ersten Gruppe, dann der zweiten Gruppe, dann der dritten Gruppe und so weiter durchgeführt. Um die Versuchsgruppen gleichmäßig zu behandeln, erfolgten die Spülung und Aktivierung jeweils nacheinander. Aus diesem Grund wurde die automatische mitgeführte Spülung bei der Ultraschallaktivierung deaktiviert. Dies führte zu einer Standardisierung der Spülmenge und der Spüldauer in allen 4 Gruppen. Während der Studie wurde darauf geachtet, dass sämtliche äußere Bedingungen (Geräteeinstellungen, Batteriezustand, Temperatur der Spülmedien, Pausen zwischen den Präparationsschritten und den Versuchen) konstant waren. Sonntag et al. (2005) weisen ausdrücklich auf die Einhaltung der Pausen zwischen den einzelnen Versuchen hin, um die Ermüdung des Behandlers zu vermeiden.

Die Untersuchung der Präparate kann sowohl im Längs- als auch im Querschnitt erfolgen. In der hier vorliegenden Studie wurde der Längsschnitt gewählt, um einen besseren Überblick über das Kanallumen zu gewinnen.

Die Spaltung der Präparate erfolgte so, dass der Hauptwurzelkanal mit einem passenden Guttaperchastift verblockt war. Damit wurde das Eindringen von Schleifstaub verhindert. Es wurden in vestibulo-oraler Richtung jeweils zwei Längsrillen bis zum Durchscheinen der Guttapercha angelegt und dann die Wurzel mittels eines Heidemannspatels gespalten. Dadurch erhielt man zwei Hälften, die in der Regel die Innen- und Außenkurvatur des Hauptwurzelkanals darstellen. Ein ähnliches Vorgehen findet sich in vergleichbaren REM Untersuchungen (Stevens et al. 2006, Teixeira et al. 2005).

6.2 REM-Auswertung der Proben

Die Untersuchung stellt die Effektivität der CanalBrush und des EndoActivators bei der Entfernung von Debris und Smear Layer gegenüber. Zur Beurteilung wurde eine Bewertung der Oberflächenreinheit anhand eines Scoringsystems vorgenommen. Dies ist in Studien mit rasterelektronenmikroskopischer Untersuchung der Wurzelkanalwandoberfläche üblich (Ahmad et al. 1987b, 1987a, Aktener und Bilkay 1993, Baumgartner und Mader 1987, Çalt und Serper 2002, Cameron 1983, da Silva et al. 2008, Di Lenarda et al. 2000, Gambarini 1999, Gambarini und Laszkiewicz 2002, Hata et al. 1996, Hülsmann et al. 2002, Khedmat und Shokouhinejad 2008, Lim et al. 2003, Liolios et al. 1997, Lumley et al. 1993, Mandel et al. 1990, O'Connell et al. 2000, Panighi und Jacquot 1995, Pérez-Heredia et al. 2006, Stevens et al. 2006, Teixeira et al. 2005, Yamada et al. 1983, Yamashita et al. 2003, Zehnder et al. 2005).

Die Anzahl der Bewertungsgrade und der verwendeten Vergrößerungen weichen dabei in den Studien erheblich voneinander ab. Die subjektive Einordnung der Kanalwandbezirke in bestimmte Reinigungsgrade stellt sicher die größte Fehlerquelle in der Untersuchung dar. Nur eine wiederholte Bewertung und eine vorherige Untersucherkalibrierung verringern diese Ungenauigkeit (Baker Na et al. 1975, Baumgartner et al. 2007, Cunningham und Martin 1982, Hülsmann et al. 2003b). Die in vergleichbaren Studien benutzten Bewertungssysteme für Debris und Smear Layer differieren hinsichtlich der Zahl der verwendeten Scores zwischen 3 und 7 Graden

(Crumpton et al. 2005, Di Lenarda et al. 2000). Mit steigender Anzahl der Bewertungsgrade steigt die Sensibilität der Bewertung. Die Rate der Falschklassifikationen steigt allerdings überproportional mit der Anzahl der Scores an. Zusätzlich tritt das Problem der eindeutigen Klassifizierung des für den Wurzelkanalabschnitt typischen Areals auf. Eine letztlich präzisere Zuordnung wäre mit einer ausreichend kleinen Rasterung und Einzelbewertung möglich. Dies ist durch eine Gittereinteilung der verschiedenen Areale (apikaler, mittlerer und koronaler Abschnitt) oder eine Untersuchung der gesamten Kanalwandoberfläche möglich (Scelza et al. 2000). Es besteht ebenso die Möglichkeit, die Anzahl der offenen Dentintubuli zu zählen (Di Lenarda et al. 2000). In der vorliegenden Untersuchung wurde ein zufällig ausgewähltes Areal des jeweiligen Kanalabschnittes dem Scoringsystem entsprechend bewertet.

6.3 Diskussion der Ergebnisse

Die verschiedenen Studiendesigns, Unterschiede in der Handhabung und Routine des Untersuchers, die abschließende Größe der Präparation und uneinheitliche Auswertungskriterien erschweren den Vergleich mit der Literatur. Die innerhalb der Studie verwendeten Spülmedien werden schon seit Jahrzehnten in der Literatur untersucht (Çalt und Serper 2002, Cotter et al. 1985).

Der Vergleich mit der Literatur ergibt, dass großvolumige Spülungen besser sind als kleine Volumina. Die Zwischenspülung mit 3 ml Natriumhypochlorit (3 %) und die Abschlussspülung mit 5 ml des jeweiligen Agens entsprechen dem aktuellen klinischen Standard (Hülsmann 2006, Schäfer 2007, Zehnder 2006).

Die apikale Extrusion der Spülflüssigkeit durch die Aktivierung wurde in der Studie nicht untersucht. Das Überpressen der Flüssigkeit kann zu iatrogen vermeidbaren zytotoxischen Reaktionen, Emphysemen, Schwellungen und Schmerzen führen (Hülsmann und Hahn 2000, Hülsmann et al. 2009). Unter diesem Aspekt wurde das Untersuchungsmaterial im Vorfeld bereits ausgewählt. Weit offene apikale Foramina oder unvollständiges Wurzelwachstum (siehe Tabelle 1) wurden von der

Untersuchung ausgeschlossen. Dadurch fand der Aspekt der apikalen Extrusion in allen Versuchsgruppen gleichartig Berücksichtigung. Den klinischen Arbeitshinweisen, dass die Spülkanüle oder das Aktivierungsgerät stets passiv und ohne Klemmwirkung im Kanal appliziert werden soll und dass die Spülung selbst mit konstantem schwachem Druck erfolgen muss (Bradford et al. 2002), wurde während der Versuchsvorbereitung und Versuchsdurchführung ständig Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Reinigungswirkung ist in allen 4 Gruppen koronal besser als apikal, dies entspricht den Erwartungen und den Angaben in der Literatur (Abbott et al. 1991, Cheung und Stock 1993, van der Sluis et al. 2007a).

Die Ergebnisse der Studie zeigen auf, dass eine zu wenigstens 45 % Debris freie Wurzelkanalwand mit allen 4 Methoden zu erreichen ist. Weiterhin wird deutlich, dass sich bei der Reinigungswirkung des Debris kaum Unterschiede zwischen den Gruppen ergeben. Alle Wandabschnitte sind weitestgehend frei von Debris (Score I). Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Entfernung des Debris im koronalen oder im apikalen Wurzelkanalabschnitt. Dieses Ergebnis ist zu der Untersuchung von Passarinho-Neto et al. (2006) different, da hier ein statistisch schlechterer Wert für die Kontrollgruppe (dynamische Handspülung) gefunden wurde. Nach Passarinho-Neto et. al. 2006 befreit die rotierende Präparation mit NiTi-Instrumenten mit abschließender Ultraschallaktivierung das apikale Drittel besser von Debris als die NiTi -Präparation mit dynamischer Handspülung. Die Unterschiede zu dieser Studie finden sich in Spülmenge und Aufbereitungsgröße. Die Spülmenge zwischen den Feilen betrugt bei Passarinho-Neto et. al. (2006) zwei Milliliter und die apikale Aufbereitungsgröße .04/30. Zwar stellten Abou-Rass und Piccinino (1982), Hsieh et al. (2007) sowie McGurkin-Smith et al. (2005) fest, dass apikal nicht so weit aufbereitet werden muss, wenn insgesamt mit großer Konizität gearbeitet wird. Jedoch muss man im direkten Vergleich der Studie von Passarinho-Neto et. al. (2006) und der vorliegenden Arbeit feststellen, dass der apikale Diameter ebenso wie die Spülmenge den entscheidenden Einfluss auf die Debris Ausräumung haben. Im Umkehrschluss kommt man zu der Vermutung, dass in engen Kanälen die Ultraschallaktivierung die Reinigungswirkung des jeweiligen Agens verbessert. Dies wird von Goodman et al. (1985) und Gutarts et al. (2005) bestätigt. Hier finden sich

bei geringeren Diametern ebenso bessere Werte für PUI, insbesondere in apikalen Kanalabschnitten.

6.3.1 Reinigungswirkung der Handspülung

In der vorliegenden Studie wurden alle Spülungen mit Hilfe einer Einmalspritze mit Luer Lock-Verschluss und einer Spülkanüle der ISO Größe 30 durchgeführt. Da eine Erweiterung bis zur ISO-Größe 40 erfolgte, konnte die Kanüle bis 1 mm vor dem Foramen physiologicum in den Wurzelkanal eingebracht werden. Somit wurde Ram (1977) Rechnung getragen, der eine Aufbereitung bis ISO 40 als notwendig bezeichnete. Diese Aufbereitungsgröße ist notwendig, um ein suffizientes Spülen des apikalen Abschnittes zu erreichen. Abou-Rass und Piccinino (1982) bestätigen in ihren Untersuchungen, dass bei koronal größerer Aufbereitung eine suffiziente apikale Spülung bei ISO 25 möglich ist. Die apikale Erweiterung ist notwendig, um mechanisch das infizierte Wurzeldentin zu entfernen (Rollison et al. 2002).

Die hydrodynamischen Effekte, welche in den Studien zur Wirksamkeit der PUI (Ahmad et al. 1987) und RinsEndo (Hauser et al. 2007) Beachtung fanden, mussten in der vorliegenden Studie auf die Aktivierungsphase des Agens begrenzt werden. Dies war notwendig, da die zu untersuchenden Geräte CanalBrush und EndoActivator keine mitgeführte Spülung besitzen. Es musste die entstehende Hydrodynamik, welche durch Flüssigkeitsaustausch während der Aktivierung entstehen würde, vollkommen ausgeschaltet werden. Dies gelang durch Deaktivierung, der am Ultraschallgerät mitgeführten Spülung, Eine Aktivierung des permanenten Spülmodus hätte die Resultate für diese Gruppe vermutlich deutlich verbessert.

Für die Ausräumung des Debris ergeben sich innerhalb aller vier Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede (siehe 6.3).

Die dynamische Handspülung ist die uneffektivste Methode, um die Schmierschicht zu entfernen. Hier zeigte sich statistisch signifikant, dass alle anderen drei Aktivierungsmethoden den Smear Layer effektiver entfernen. Im apikalen Anteil des

Wurzelkanals ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Allerdings kann man eine Tendenz zu einer leichten Überlegenheit der Reinigungswirkung durch die PUI und die CanalBrush erkennen. Dies gleicht den Ergebnissen von Archer et al. (1992) und Gutarts et al. (2005), die ebenfalls herausfanden, dass die PUI effektiver in der Reinigung der Kanalwand ist als die dynamische Handspülung. Gutarts et al. (2005) weisen in der Untersuchung darauf hin, dass die Ultraschallaktivierung vermutlich beide Effekte des acoustic streaming und der Kavitation aufweist. Dies vermuteten die Autoren aufgrund der guten Reinigung des Isthmus bei nicht vollständiger Eindringtiefe des Ultraschallansatzes.

6.3.2 Reinigungswirkung der passiven Ultraschallspülung (PUI)

Die mittels piezoelektrischen oder magnetostriktiven Schallgebern erzeugten Schwingungen im Ultraschallbereich bringen die am Handstück sitzende Feile zum Schwingen. Diese überträgt die Energie der Schallgeber mittels Schwingung auf ihre Umgebung. Es kommt in Flüssigkeiten zu Strömungsfeldern (Walmsey 1987). Diese Schwingungen bestehen an der Feile in Form von Schwingungsbäuchen und Schwingungsknoten. Es entstehen durch die übertragene Energie in der Flüssigkeit so große Schwingungen innerhalb der Moleküle, dass die Bindungskräfte der Moleküle untereinander nicht ausreichen. Es bilden sich feinste Kavitationen, welche die Oberfläche reinigen (Goodman et al. 1985). Bei allen hydrodynamisch wirkenden Aktivierungsverfahren kommt es zu diesen Effekten (Lussi et al. 1995). Man spricht im Zusammenhang der PUI von acoustic streaming und von Kavitation. Die Ultraschallaktivierung war in dieser Untersuchung zur Entfernung der Schmierschicht für die Gesamtheit der Kanalwand signifikant besser als die dynamische Handspülung. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Hata et al. (2001).

Im koronalen Anteil zeigte sich eine signifikant bessere Entfernung der Schmierschicht. Im Kontrast dazu fand Alaçam (1987) sowohl für apikal als auch koronal eine bessere Entfernung der Schmierschicht. Die apikal bessere Entfernung konnte in dieser Studie nicht belegt werden. Es ist aber tendenziell eine bessere Entfernung des Smear Layer nach Aktivierung der Spüllösung mit Ultraschall oder der CanalBrush (Gruppe 2 und 4) für den apikalen Kanalanteil zu erkennen. Die

Ursache könnte die längere Aktivierungszeit bei Alaçam (1987) sein. Dies bestätigt die Studie von Cameron (1983) der zeigt, dass längere Aktivierungszeiten (5 Minuten im Vergleich zu 3 Minuten) zu besserer Reinigung führen. Im Kontrast dazu fanden Sabins et al. (2003), dass eine Verdoppelung der Aktivierungszeit von 30 Sekunden auf 60 Sekunden keine bessere Reinigungswirkung erzielt.

Die Reinigungswirkung der PUI nimmt von koronal nach apikal in dieser Studie ab. Dies steht im Widerspruch zu der Tatsache, dass die Auslenkung der Feile an der Spitze am größten ist (Walmsey 1987). Eine vollständig freie Führung der Feile während der Aktivierung ist nicht möglich, so dass es immer zu einem Wandkontakt der Feilenspitze und damit zur Dämpfung der Energieübertragung kommt. Es wurde keine Auswertung des Wandkontaktes der Feile im rasterelektronelektronen-mikroskopischen Bild vorgenommen.

Die Ultraschallaktivierung zur Entfernung der Schmierschicht war nicht signifikant besser als die EndoActivator Aktivierung. Dies kann weder an einem kontinuierlichem Flüssigkeitsaustausch während der Aktivierung noch an einer höheren Schwingungs-frequenz des EndoActivators liegen. Dies deckt sich nicht mit den Ergebnissen der Untersuchungen von Townsend und Maki (2009), die keinen Unterschied in der Reinigungswirkung von PUI und EndoActivator fanden.

6.3.3 Reinigungswirkung der EndoActivator Aktivierung

Bezüglich der Entfernung des Debris fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Vergleicht man die Gesamtheit der Schmierschicht in allen Kanaldritteln, so ergibt sich eine signifikant bessere Reinigung als durch die dynamische Handspülung. Die Schallaktivierung entfernt im gesamten Kanal besser den Smear Layer.

Die koronalen Wandabschnitte, welche mit dem EndoActivator (Gruppe III) gereinigt wurden, stellten sich besonders sauber dar. Hier erreicht die Schallaktivierung eine fast vollständige Elimination der Schmierschicht (Score I - Keine oder fast keine Schmierschicht an der gesamten Wand, Dentintubuli überwiegend offen). Die

Entfernung der Schmierschicht gelang mit dem EndoActivator signifikant besser als mit der dynamischen Handspülung. Im koronalen Anteil reinigt der EndoActivator besser als die PUI, im apikalen Anteil ist kein Unterschied zu erkennen. Die Reinigungswirkung verhält sich tendenziell ähnlich der dynamischen Handspülung. Wie bei der PUI, liegt apikal die größte Auslenkung des Polymeransatzes vor. Aufgrund der großen Amplitude des Polymeransatzes kommt es bei der Aktivierung mittels EndoActivator zum Kontakt mit der Wurzelkanalwand. Ob die Berührung des Polymeransatzes Auswirkungen auf die Kanalanatomie hat, wurde nicht untersucht.

Im Kontrast zu den gefundenen Ergebnissen zeigten Brito et al. (2009) und Reynolds et al. (1987), dass die Schallaktivierung nicht zu einer besseren Bakterienelemination führt. Dies begründet sich nach van der Sluis et al. (2007b) in einem geringeren acoustic streaming. Die Schallaktivierung ist weniger effektiv, da es sich um eine niedere Schwingungsfrequenz mit weniger Energie handelt.

De Gregorio et al. (2009) untersuchten die Eindringtiefe der Spüllösung in Seitenkanälchen und zeigten, dass sowohl Schall als auch Ultraschall besser reinigen als die dynamische Handspülung. Dieses Ergebnis stimmt mit dem Resultat der vorliegenden Studie überein.

Desai und Himel (2009) weisen in ihrer Untersuchung nach, dass PUI und RinsEndo eine signifikant größere apikale Extrusion von Spüllösung aufweisen als der EndoActivator. Die Menge an apikal überpresster Flüssigkeit während der EndoActivator - Anwendung war vernachlässigbar klein und unterhalb der zytotoxischen Schwelle. Die apikale Extrusion wurde in dieser Untersuchung nicht untersucht.

Townsend und Maki (2009) zeigten, dass keine der verwendeten Spül- oder Aktivierungstechniken zu einem bakterienfreien Wurzelkanal führten. Es zeigte sich keine signifikante Differenz zwischen der Verwendung des EndoActivator oder PUI. Dieser Unterschied zur vorliegenden Studie kann mit der Verwendung von Plastikblöcken anstelle extrahierter natürlicher Zähne zur Überprüfung der Bakterienelemination erklärt werden. Townsend und Maki (2009) aktivierten nur 30 Sekunden und verwendeten steriles Wasser zur Spülung.

Die Alternativhypothese, dass der EndoActivator die Schmierschicht am besten entfernt, kann im koronalen Abschnitt bei einer Signifikanz von p = 0,028 angenommen werden. Daraus kann gefolgert werden, dass in großvolumigen (Falk und Sedgley 2005, Hsieh et al. 2007) Kanalabschnitten die Schmierschicht signifikant besser entfernt wurde. Der Einsatz des EndoActivators erzeugt statistisch signifikant besser gereinigte Kanäle als die dynamische Handspülung, PUI oder die Aktivierung mittels der CanalBrush. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um festzustellen, welchen Einfluss die Aktivierungszeit oder die Größe der Erweiterung des Hauptwurzelkanals auf die Aktivierung haben.

Bei der Betrachtung des apikalen Kanalabschnittes sind die prozentualen Werte zu beachten. Entscheidend ist der Anteil der verbleibenden verschmutzten oder mit Schmierschicht belegten Bereiche. Es zeigte sich, dass der Anteil der apikal sauberen Bereiche prozentual bei der CanalBrush und dem Ultraschall am größten ausfällt. Es verbleiben apikal bei Verwendung der Schallaktivierung etwa die gleichen Prozentwerte des Score IV und V wie für die dynamische Handspülung, sowohl für Debris als auch Smear Layer.

6.3.4 Reinigungswirkung der CanalBrush

Für die Reinigungswirkung der CanalBrush zeigte sich, dass die apikale Entfernung der Schmierschicht in 20 % der Präparate in der Bewertung mit Score 1 resultierte. Dies entspricht der Reinigungswirkung der PUI und ist dem EndoActivator überlegen. Entscheidend ist die Menge der Scores IV und V, da die verschmutzten Bezirke über eine bakterielle Reinfektion entscheiden. Die Reinigungswirkung der CanalBrush zeigte sich im apikalen Kanalanteil prozentual der PUI geringfügig unterlegen, war aber besser als die Reinigungswirkung des EndoActivator oder der dynamischen Handspülung.

Während der gesamten Studie ergab sich keinerlei Abscherung der grazilen Härchen der CanalBrush. Um eine konkrete Aussage über die Arbeitssicherheit zu treffen, bedarf es einer entsprechenden Nachuntersuchung der verwendeten Bürsten. Die

Bürste ist gegenüber Scher- und Zugkräften und gegen Verdrehung sehr stabil. Gleichzeitig kann man eine Überlastung genau erkennen, da der verwendete Kunststoff keinen Memory Effekt aufzeigt, wie er von den NiTi- Instrumenten bekannt ist.

Für die klinische Arbeit ist im Ergebnis der Untersuchung festzuhalten, dass tendenziell die CanalBrush im apikalen Anteil eine leichte Verbesserung der Wirkung der Spülmedien erreicht, ähnlich der PUI. Die prozentualen Reinigungswerte sind nur geringfügig schlechter als für die Ultraschallaktivierung. Dieser Effekt ist statistisch aber nicht belegbar.

Weitere Studien sind notwendig, um den Einfluss der Dauer der Aktivierung und der Spülmenge, sowie der Aufbereitungsgröße in Verbindung mit dem EndoActivator und der CanalBrush herauszufinden.

7 Zusammenfassung

Für die Aktivierung der Spülflüssigkeiten beim chemo-mechanischen Debriment stehen dem Zahnarzt verschiedene Methoden und Geräte zur Verfügung.

Die aktuellen Entwicklungen neuer Geräte wie dem EndoActivator® (advanced endodontics, Santa Barbara USA) und der CanalBrush® (Roeko, Langenau, Deutschland) machen es notwendig, deren klinische Relevanz zu überprüfen.

In der vorliegenden Studie wurden die Effektivität der abschließenden Spülung zur Entfernung von Debris und Smear Layer untersucht. Es wurden die dynamische Handspülung, die Ultraschallaktivierung, die CanalBrush® und der EndoActivator® miteinander verglichen.

Die Aktivierung von EDTA 17 % und NaOCl 3 % durch den EndoActivator® erwies sich im koronalen Anteil als die beste Möglichkeit den Smear Layer zu entfernen. Im apikalen Wurzelabschnitt ergab sich bei der gewählten Aufbereitungsgröße kein statistisch signifikanter Unterschied in der Reinigungswirkung.

Alle Aktivierungsgeräte sind signifikant besser zum Entfernen der Schmierschicht als die dynamische Handspülung.

Keine der untersuchten Aktivierungsmethoden hinterließ eine durchgängig Schmierschicht - freie Kanalwand.

Den derzeitigen Wissenstand kann man folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die CanalBrush® ist ausreichend flexibel. Sie behält die ursprüngliche Kanalform bei.

2. Der EndoActivator® erhöht die Wirksamkeit der Agenzien zur Schmierschichtentfernung signifikant besser als alle anderen Aktivierungsgeräte.

3. Die Wirksamkeit der Aktivierung zur Schmierschichtentfernung in engen Kanalabschnitten ist fraglich.

4. Die Reinigungswirkung des flüssigen Chelators EDTA 17 % wird durch alle Aktivierungsgeräte gesteigert.

5. Bei gründlicher Aufbereitung des Hauptwurzelkanals und großvolumiger Spülung entsteht mit zusätzlicher Abschlussspülung ein nahezu Debris - freier Hauptwurzelkanal mit allen untersuchten Methoden.

8 Anhang

Herstellerverzeichnis

Advanced Endodontics	Santa Barbara	USA
American Dental Systems	Vaterstetten	Deutschland
Braun Petzold	Melsungen	Deutschland
Canon Inc. Headquarters	Ohta-ku	Japan
Corel Corporation	Unterschleißheim	Deutschland
Dentsply Tulsa Dental	Tulsa, Oklahoma	USA
DeTrey Dentsply	Konstanz	Deutschland
Fissons Instruments	Uckfield	Großbritanien
Dürr Dental	Bietigheim-Bissingen	Deutschland
Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG	Lemgo	Deutschland
Gespia	Waldorf	Deutschland
Heraeus Kulzer	Hanau	Deutschland
Kodak	Stuttgart	Deutschland
lege artis	Dettenhausen	Deutschland
Mectron Deutschland Vertriebs GmbH	Köln Dellbrück	Deutschland
Premier Dental	Philadelphia, PA	USA
Analytical Systems GmbH	Herne	Deutschland
Medidenta International Inc.	Woodside	USA
Roeko GmbH & Co KG	Langenau	Deutschland
Roth International	Chicago	USA
Septodont	Paris	Frankreich
Speiko – Dr. Speier GmbH	Münster	Deutschland
Ultradent	München	Deutschland
VDW	München	Deutschland
Zeiss	Oberkochen	Deutschland

Tabellen

Krümmungswinkeltabelle

Zahn = Nummer des Präparates
Winkel = Krümmungswinkel nach Schneider

I		II		III		IV	
Zahn	Winkel	Zahn	Winkel	Zahn	Winkel	Zahn	Winkel
1	22,5 °	2	33,2 °	4	26,1 °	5	27,5 °
10	37,3 °	9	71,0 °	8	20,4	6	27,2 °
13	29,9 °	11	29,0 °	14	48,7 °	21	46,9 °
17	33,6 °	12	38,9 °	15	32,0°	37	30,3 °
18	22,0 °	19	30,8 °	20	57,6 °	40	53,2 °
23	46,4 °	24	38,0°	22	30,5 °	53	26,4 °
25	27,4 °	26	37,0°	27	38,4 °	57	59,3 °
30	48,8 °	34	32,4 °	32	30,0°	60	51,4 °
31	23,1°	36	44,9 °	35	37,8 °	67	47,1 °
38	22,1 °	45	50,7 °	39	46,8 °	69	42,2 °
43	62,6 °	47	20,3 °	42	69,8 °	71	21,3 °
44	62,6 °	49	55,8 °	56	24,7 °	74	67,8 °
51	42,5 °	65	34,6 °	59	22,2 °	76	20,3 °
52	24,5 °	88	29,9 °	73	20,6 °	78	71,2 °
55	54,7 °	91	61,2 °	75	48,3 °	82	43,5 °
62	56,3 °	97	26,5 °	81	44,8 °	86	32,6 °
63	43,8 °	101	47, 0°	83	46,5 °	93	42,3 °
79	42,5 °	103	21,9°	84	21,9 °	94	32,7 °
80	51,1 °	107	41,0 °	85	32,8 °	104	23,0 °
100	48,8 °	108	25,9 °	98	53,7 °	105	28,8 °

Aufbereitungsprotokoll

	Krümmung																										
	vor																										
Nr	aufbereiten	Gruppe	AL	IAF	6/40	Splg.	6/35	Splg.	4/30	Splg.	4/25	Splg.	4/20	Splg.	2/25	Splg.	2/20	Splg.	2/25	Splg.	2/30	Splg.	2/35	Splg.	2/40	Splg.	FF
1	22,5 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
2	33,2 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
3	17, °		18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
4	26,1 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
5	27,5 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
6	27,2 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
7																											2/40
8	20,4 °	3	18 mm	10																							2/40
9	71 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
10	37,3 °	1	18 mm	11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
11	29,1 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
12	38,9 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
13	29,9 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
14	48,7 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
15	32, °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
16	46,2 °																										2/40
17	33,6 °	1	18 mm	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
18	22, °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
19	30,8 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
20	57,6 °	3	18 mm	11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
21	46,9 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
22	30,5 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
23	46,4 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
24	38, °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
25	27,4 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
26	37, °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
27	38,4 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
28																											2/40
29																											2/40
30	48,8 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
31	23,1 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40

32	30, °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
33	, °		18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
34	32,4 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
35	37,8 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
36	44,9 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
37	30,3 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
38	22,1 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
39	46,8 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
40	53,2 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
41						x																					2/40
42	69,8 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
43	62,6 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
44	20,7 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
45	50,7 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
46																											2/40
47	20,3 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
48																											2/40
49	55,8 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
50	30,6 °		geht nicht																								2/40
51	42,5 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
52	24,5 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
53	26,4 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
54	80,4 °		!!!!!!!!!!!!																								2/40
55	54,7 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
56	24,7 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
57	59,3 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
58																											2/40
59	22,2 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
60	51,4 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
61																											2/40
62	56,3 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
63	43,8 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
64																											2/40
65	34,6 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
66	14,8 °		18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
67	47,1 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
68																											2/40

69	42,2 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
70	15,3 °		18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
71	21,3 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
72																											2/40
73	21,4 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
74	67,8 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
75	48,3 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
76	24,3 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
77	11, °																										2/40
78	71,2 °	4	18 mm	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
79	42,5 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
80	51,1 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
81	44,8 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
82	43,5 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
83	46,5 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
84	21,9 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
85	32,8 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
86	32,6 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
87																											2/40
88	29,9 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
89																											2/40
90																											2/40
91	61,2 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
92	16,2 °		18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
93	42,3 °	4																									2/40
94	32,7 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
95																											2/40
96																											2/40
97	26,5 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
98	53,7 °	3	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
99																											2/40
100	48,8 °	1	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
101	47, °	2	18 mm	11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
102																											2/40
103	21,9 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
104	23, °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
105	28,8 °	4	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/40
106																											2/40

107	41, °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	2/40
108	25,9 °	2	18 mm	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/41

Tabelle 8: Dokumentation Aufbereitung

					Koronale				
					Konstriktion				
Nr	Rö Bild1	Trep	Ergebnis Trep	Instrumentieren	entfernt	RöBild2	Digi	Linien	Winkel
1	x	X	ok	x	nein	x	x	x	x
2	x	X	ok	x	nein	x	x	x	x
3	x	X	ok	x	nein	x	x	x	x
4	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
5	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
6	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
7	x	x	WF						
8	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
9	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
10	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
11	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
12	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
13	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
14	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
15	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
16	x	x	wurzelfraktur mesial						
17	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
18	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
19	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
20	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
21	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
22	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
23	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
24	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
25	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
26	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
27	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
28	x	x	offenes Foramen						
29	x	x	ok						
30	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
31	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
32	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
33	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
34	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
35	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
36	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
37	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
38	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
39	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
40	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
41	x	x	ok						
42	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
43	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
44	x	x	Wurzelfraktur lingual	x	nein	x	x	x	x
45	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
46	x	x	offenes Foramen						
47	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
48	x	x	ok						
49	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
50	x	x	offenes Foramen	x	nein	x	x	x	x
51	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
52	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
53	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
54	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
55	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
56	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x

57	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
58	x	x	WF						
59	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
60	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
61	x	x	offenes Foramen	x		x	x		
62	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
63	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
64	x	x	WF						
65	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
66	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
67	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
68	x	x							
69	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
70	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
71	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
72	x	x	ok						
73	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
74	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
75	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
76	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
77	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
78	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
79	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
80	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
81	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
82	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
83	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
84	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
85	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
86	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
87	x	x	WF						
88	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
89	x	x	WF						
90	x	x	WF						
91	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
92	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
93	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
94	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
95	x	x	OK Molar	x		x	x		
96	x	x	ok						
97	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
98	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
99	x	x	ok						
100	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
101	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
102	x	x	offenes Foramen	x		x	x		
103	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
104	x	x	ok	x	nein	x	x	x	x
105	x	x	ok	X	nein	x	x	x	x
106	x	x	ok						
107	x	x	ok	X	nein	x	x	x	x
108	x	x	ok	X	nein	x	x	x	x

Tabelle 9: Dokumentation Arbeitsschritte

Ergebnisse

Präparat		Debris - Score	Smear layer - Score
1	apikal	1	5
	koronal	2	5
2	apikal	1	2
	koronal	1	1
4	apikal	1	4
	koronal	2	3
5	apikal	2	5
	koronal	1	3
6	apikal	4	5
	koronal	1	3
8	apikal	1	3
	koronal	1	1
9	apikal	2	2
	koronal	1	4
10	apikal	1	3
	koronal	2	4
11	apikal	1	5
	koronal	1	3
12	apikal	1	3
	koronal	1	3
13	apikal	1	2
	koronal	1	2
14	apikal	3	5
	koronal	1	1
15	apikal	2	5
	koronal	1	1
17	apikal	1	5
	koronal	1	5
18	apikal	5	5
	koronal	1	5
19	apikal	2	5
	koronal	1	1
20	apikal	2	5
	koronal	1	1
21	apikal	1	3
	koronal	1	1
22	apikal	1	5
	koronal	2	5
23	apikal	1	4
	koronal	2	4
24	apikal	2	5
	koronal	1	1
25	apikal	1	5
	koronal	1	3
26	apikal	2	4
	koronal	2	2

27	apikal	1	5
	koronal	1	1
30	apikal	2	5
	koronal	3	5
31	apikal	3	5
	koronal	3	1
32	apikal	1	5
	koronal	1	1
34	apikal	2	5
	koronal	1	2
35	apikal	1	5
	koronal	1	1
36	apikal	2	5
	koronal	3	5
37	apikal	3	5
	koronal	1	1
38	apikal	5	5
	koronal	2	5
39	apikal	3	5
	koronal	1	1
40	apikal	3	4
	koronal	1	1
42	apikal	1	1
	koronal	1	1
43	apikal	2	2
	koronal	1	1
44	apikal	1	5
	koronal	1	1
45	apikal	3	4
	koronal	1	1
47	apikal	1	5
	koronal	1	1
49	apikal	1	1
	koronal	2	2
50	apikal	2	5
	koronal	1	4
51	apikal	1	2
	koronal	2	1
52	apikal	2	5
	koronal	1	1
53	apikal	3	3
	koronal	1	4
55	apikal	1	5
	koronal	1	1
56	apikal	3	5
	koronal	1	1
57	apikal	2	4
	koronal	2	1
59	apikal	2	3

	koronal	1	1
60	apikal	1	4
	koronal	1	1
62	apikal	1	1
	koronal	1	3
63	apikal	1	3
	koronal	3	5
65	apikal	4	3
	koronal	1	1
67	apikal	1	1
	koronal	1	3
69	apikal	1	1
	koronal	1	1
71	apikal	2	4
	koronal	1	1
73	apikal	5	5
	koronal	1	1
74	apikal	2	5
	koronal	2	1
75	apikal	3	5
	koronal	1	1
76	apikal	1	1
	koronal	1	3
78	apikal	3	1
	koronal	2	5
79	apikal	2	5
	koronal	1	3
80	apikal	1	5
	koronal	1	5
81	apikal	1	1
	koronal	2	1
82	apikal	2	5
	koronal	2	1
83	apikal	3	5
	koronal	1	1
84	apikal	1	5
	koronal	1	1
85	apikal	4	5
	koronal	1	1
86	apikal	2	5
	koronal	2	2
88	apikal	3	4
	koronal	1	4
91	apikal	1	4
	koronal	2	2
94	apikal	2	4
	koronal	2	4
97	apikal	2	1
	koronal	3	2

98	apikal	3	4
	koronal	2	5
100	apikal	2	5
	koronal	1	5
101	apikal	2	5
	koronal	1	1
103	apikal	2	3
	koronal	2	1
104	apikal	2	4
	koronal	2	2
105	apikal	4	5
	koronal	1	2
107	apikal	4	2
	koronal	1	1
108	apikal	3	5
	koronal	2	3

Tabelle 10: Ergebnisse der REM Untersuchung

Bilder

Krümmungswinkel

Gruppe I

Zahn 001

Zahn 010

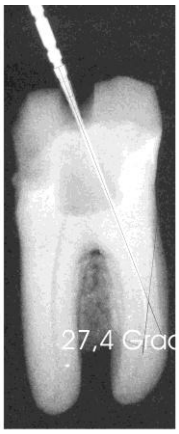
Zahn 013

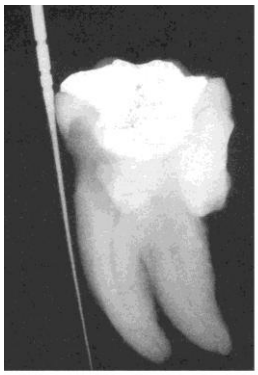
Zahn 017

Zahn 018

Zahn 023

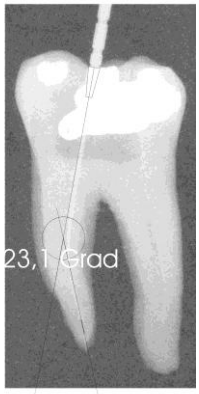
Zahn 025





Zahn 030

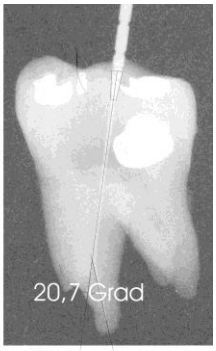
Zahn 031



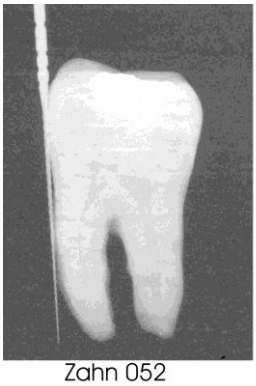
Zahn 038

Zahn 043

Zahn 044

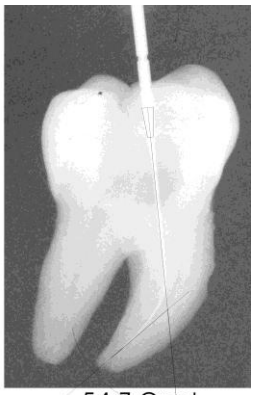


Zahn 051



Zahn 052

Zahn 055



Zahn 062

Zahn 063

Zahn 079

Zahn 080

Zahn 100

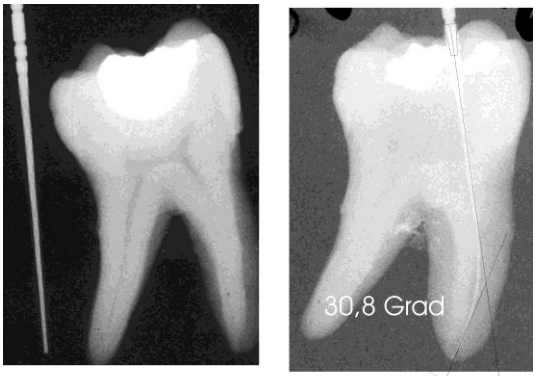
Gruppe II

Zahn 002

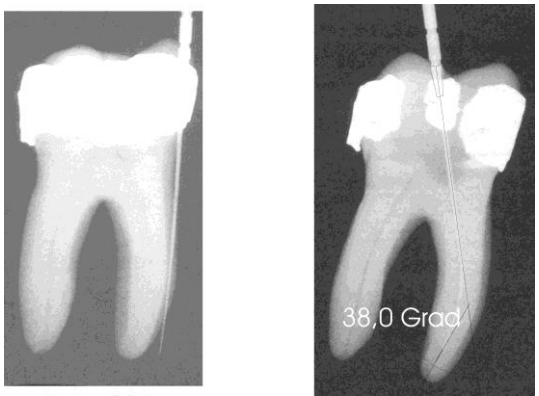
Zahn 009

Zahn 011

Zahn 012

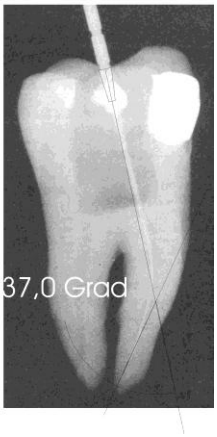


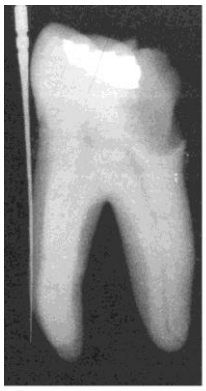
Zahn 019



Zahn 024

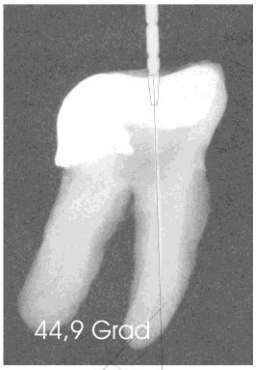
Zahn 026



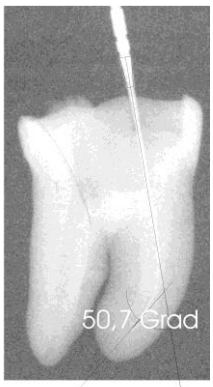


Zahn 034

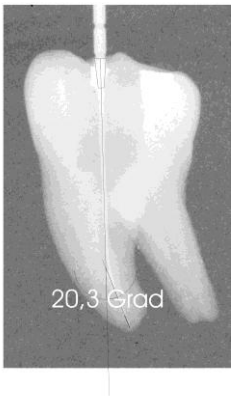
Zahn 036



Zahn 045



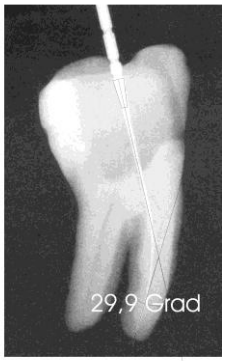
Zahn 047



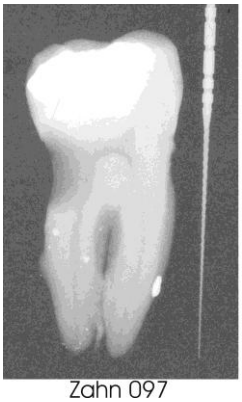
Zahn 049

Zahn 065

Zahn 088



Zahn 091



Zahn 097

Zahn 101

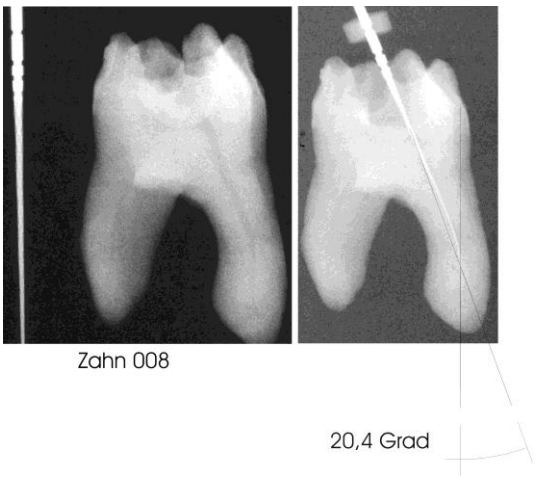
Zahn 103

Zahn 107

Zahn 108

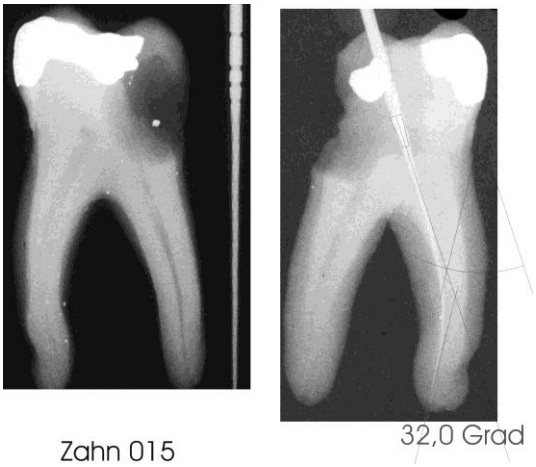
Gruppe III

Zahn 004



Zahn 008

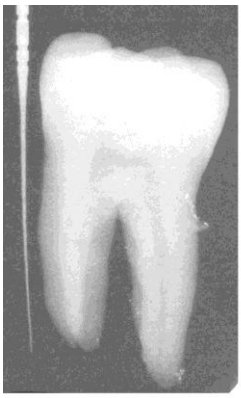
Zahn 014



Zahn 015

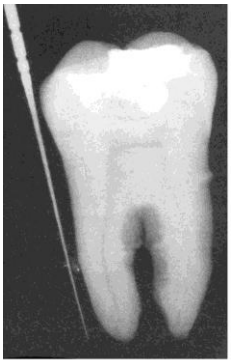
Zahn 020

Zahn 022

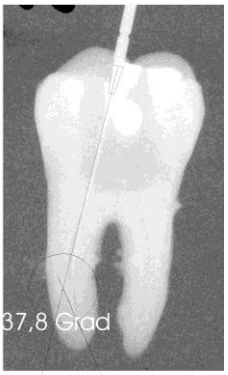


Zahn 027

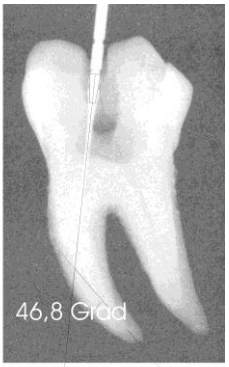
Zahn 032



Zahn 035



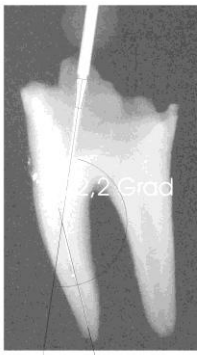
Zahn 039



Zahn 042

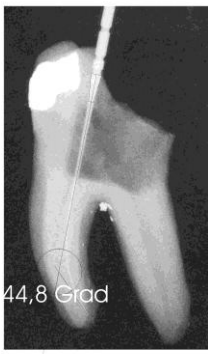
Zahn 056

Zahn 059

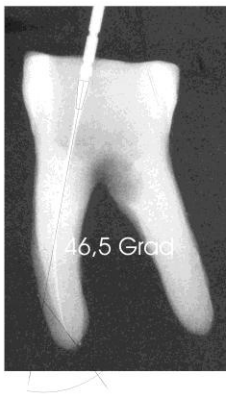


Zahn 073

Zahn 075



Zahn 081



Zahn 083

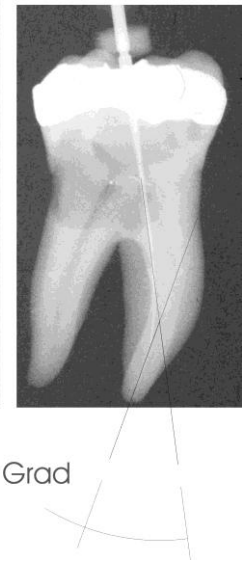
Zahn 084

Zahn 085

Zahn 098

Gruppe IV

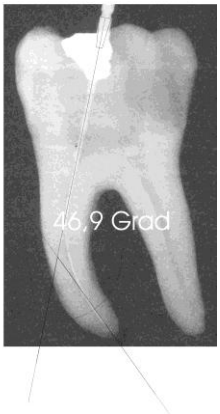
Zahn 005



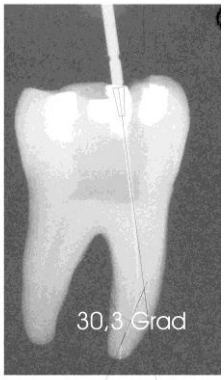
Zahn 006

27,2 Grad

Zahn 021

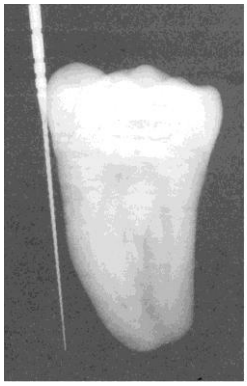


Zahn 037

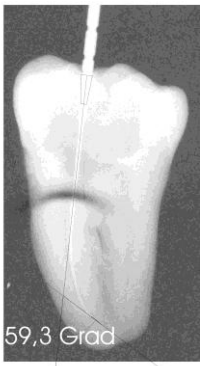


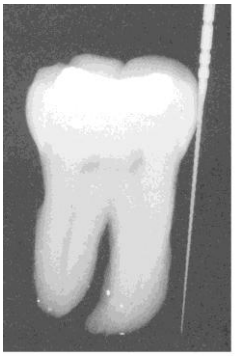
Zahn 040

Zahn 053

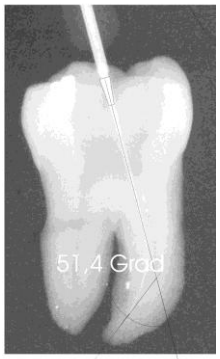


Zahn 057





Zahn 060

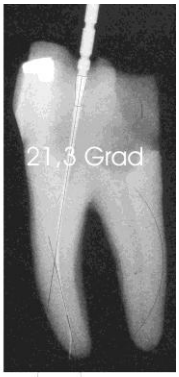


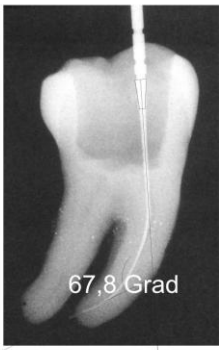
Zahn 067

47,1 °

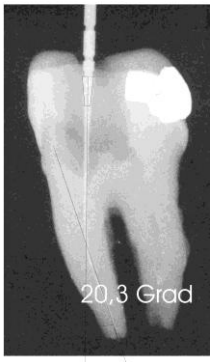
Zahn 069

Zahn 071





Zahn 076



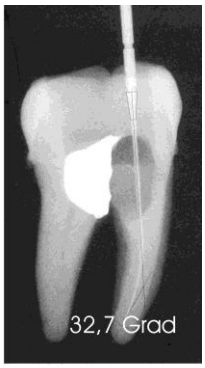
Zahn 078

Zahn 082

Zahn 086

Zahn 093

Zahn 094



Zahn 104

Zahn 105

9 Literaturverzeichnis

Abbott PV, HEIJKOOP PS, CARDACI SC, HUME WR, HEITHERSAY GS (1991):
An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics.
Int Endod J 24, 308–316.

Abou-Rass M, Oglesby SW (1981):
The effects of temperature, concentration and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite.
J Endod 7, 376–377.

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 (1989):
Effect of ultrasonic instrumentation on Bacteroides intermedius.
Endod Dent Traumatol 5, 83–86.

Ahmad M, Ford TRP, Crum LA (1987a):
Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved.
J Endod 13, 93–101.

Ahmad M, Ford TRP, Crum LA (1987b):
Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role.
J Endod 13, 490–499.

Ahmad M, Ford TRP, Crum LA, Wilson RF (1990):
Effectiveness of ultrasonic files in the disruption of root canal bacteria.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 70, 328–332.

Aktener BO, Bilkay U (1993):
Smear layer removal with different concentrations of EDTA- ethylenediamine mixtures.
J Endod 19, 228–231.

Aktener BO, Cengiz T, Pişkin B (1989):
The penetration of smear material into dentinal tubules during instrumentation with surface-active reagents: a scanning electron microscopic study.
J Endod 15, 588–590.

Alaçam T (1987):
Scanning electron microscope study comparing the efficiancy of endodontic irrigation systems.
Int Endod J 20, 287–294.

Albrecht LJ, Baumgartner JC, Marshall JG (2004):
Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files.
J Endod 30, 425–428.

Andresen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM (1992):
In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite.
Endod Dent Traumatol 8, 104–108.

Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ (1992):
An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars.
J Endod 18, 549–552.

Attin T, Buchalla W, Zirkel C, Lussi A (2002):
Clinical evaluation of the cleansing properties of the noninstrumental technique for cleaning root canals.
Int Endod J 35, 929–933.

Baker MC, Ashrafi SH, Van Cura JE, Remeikis NA (1988):
Ultrasonic compared with hand instrumentation: a scanning electron microscope study.
J Endod 14, 435–440.

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.

Baumgartner JC, Mader CL (1987):
A scanning electron microscope evaluation of four root canal irrigation regimens.
J Endod 13, 147–157.

Baumgartner JC, Cuenin PR (1992):
Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation.
J Endod 18, 605–612.

Baumgartner JC, Johal S, Marshall JG (2007):
Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation.
J Endod 33, 48–51.

Bechelli C, Zecchi Orlandini S, Colafranceschi M (1999):
Scanning electron microscope study on the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrumentation.
Int Endod J 32, 484–493.

Berg MS, Jacobsen EL, BeGole EA, Remeikis NA (1986):
A comparison of five irrigating solutions: a scanning electron microscopic study.
J Endod 12, 192–197.

Berutti E, Marini R (1996):
A scanning electron microscopic evaluation of the debridement capability of sodium hypochlorite at different temperatures.
J Endod 22, 467–470.

Berutti E, Marini R, Angeretti A (1997):
Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules.
J Endod 23, 725–727.

Biffi JCG, Rodrigues HH (1989):
Ultrasound in endodontics: a quantitative and histological assessment using human teeth.
Endod Dent Traumatol 5, 55–62.

Boutisiokis C, Lambriandis T, Vasiliadis L (2007):
Clinical relevance of standardization of endodontic irrigation needle dimensions according to ISO 9626:1991 and 9626:1991/Amd 1:2001 specification.
Int Endod J 40, 700–706.

Boyde A, Knight PJ (1970):
Scanning electron microscope studies of the preparation of the embrasure walls of class II cavities.
Br Dent J 129, 557–564.

Bradford CE, Eleazer PD, Downs KE, Scheetz JP (2002):
Apical pressures developed by needles for canal irrigation.
J Endod 28, 333–335.

Brito PR, Souza LC, de Oliveira JCM, Alves FR, De-Deu G, Lopes HP, Siqueira JF (2009):
Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal Enterococcus faecalis populations: an in vitro study.
J Endod 35, 1422–1427.

Buck R, Eleazer PD, Staat RH (1999):
In vitro disinfection of dentinal tubules by various endodontic irrigants.
J Endod 25, 786–788.

Bui TB, 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.

Byström A, Sundqvist G (1983):
Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 55, 307–312.

Çalt S, Serper A (2002):
Time-dependent effects of EDTA on dentin structures.
J Endod 28, 17–19.

Cameron JA (1983):
The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study.
J Endod 9, 289–292.

Cameron JA (1987):
The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: a scanning electron microscope evaluation.
J Endod 13, 541–545.

Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J (1987):
The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation.
Int Endod J 20, 228–232.

Cheung GSP, Stock JR (1993):
In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics.
Int Endod J 23, 334–343.

Chow TW (1983):
Mechanical effectiveness of root canal irrigation.
J Endod 9, 475–479.

Cohen S, Stewart G, Laster L (1970):
The effects of acids, alkalies and chelating agents on dentine permeability.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 29, 631–634.

Cotter JL, Fader RC, Lilley C, Herndon DN (1985):
Chemical parameters, antimicrobial activities, and tissues toxicity of 0.1 and 0.5 % sodium hypochlorite solutions.
Antimicrob Agents Chemother 28, 118–122.

Crumpton BJ, Goodell GG, McClanahan SB (2005):
Effects on smear layer and debris removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation.
J Endod 31, 536–538.

Cunningham WT, Martin H (1982):
A scanning electron microscope evaluation of root canal débridement with the endosonic ultrasonic synergistic system.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53, 527–531.

Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M (1998):
Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation.
J Endod 24, 763–767.

da Silva LAB, Sanguino ACM, Rocha CT, Leonardo MR, Silva RAB (2008):
Scanning electron microscopic preliminary study of the efficacy of smearclear and EDTA for smear layer removal after root canal instrumentation in permanent teeth.
J Endod 34, 1541–1544.

de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R (2009):
Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study.
J Endod 35, 891–895.

Desai P, Himel V (2009):
Comparative safety of various intracanal irrigation systems.
J Endod 35, 545–549.

Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O (2000):
Effectiveness of 1 mol L^{-1}citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal.
Int Endod J 33, 46–52.

Dorozhkin SV, Epple M (2002):
Die biologische und medizinische Bedeutung von Calciumphosphaten.
Antimicrob Agents Chemother 114, 3260–3277.

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

Ercan E, Özekinci T, Atakul F, Gül K (2004):
Antibacterial activity of 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite in infected root canal: in vivo study.
J Endod 30, 84–87.

Estrela C, Estrela CRA, Decurcio DA, Hollanda ACB, Silva JA (2007):
Antimicrobial efficacy of ozonated water, gaseous ozone, sodium hypochlorite and chlorhexidine in infected human root canals.
Int Endod J 40, 85–93.

Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D (2002):
Mechanisms involved in the resistance of Enterococcus faecalis to calcium hydroxide.
Int Endod J 35, 221–228.

Fader RS, Maurer A, Stein MD, Abston S, Herndon DN (1983):
Sodium hypochlorite decontamination of split thickness cadaveric skin infected with bacteria and yeast with subsequent isolation and growth of basal cells to confluenca in tissue culture.
Antimicrob Agents Chemother 24, 181–185.

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

Friedman S, Löst C, Zarrabian M, Trope M (1995):
Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer.
J Endod 21, 384–390.

Fukumoto Y, Kikuchi I, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H (2006):
An ex vivo evaluation of a new root canal irrigation technique with intracanal aspiration.
Int Endod J 39, 93–99.

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.

Gambarini G (1999):
Shaping and cleaning the root canal system: a scanning electron microscopic evaluation of a new instrumentation and irrigation technique.
J Endod 25, 800–804.

Gambarini G, Laszkiewicz J (2002):
A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments.
Int Endod J 35, 422–427.

Gambarini G, De Luca M, Gerosa R (1998):
Chemical stability of heated sodium hypochlorite endodontic irrigants.
J Endod 24, 432–434.

Giardino L, Ambu E, Savoldi E, Rimondini R, Cassanelli C, Debbia EA (2007):
Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite, MTAD, and Tetraclean against Enterococcus faecalis Biofilm.
J Endod 33, 852–855.

Goldberg F, Abramovich A (1977):
Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal.
J Endod 3, 101–105.

Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS (1981):
The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning electron microscopic study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 52, 197–204.

Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS (1982):
The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: part 2.
J Endod 8, 487–492.

Gomes BPFA, Sato E, Ferraz CCR, Teixeira FB, Zaia AA, Souza - Filho FJ (2003):
Evaluation of time required for recontamination of coronally sealed canals medicated with calcium hydroxide and chlorhexidine.
Int Endod J 36, 604–609.

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

Goodman A, Reader A, Beck M, Melfi R, Meyers W (1985):
An in vitro comparison of the efficacy of the stepback technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars.
J Endod 11, 249–256.

Gordon TM, Damato D, Christner P (1981):
Solvent effect of various dilutions of sodium hypochlorite on vital and necrotic tissue.
J Endod 7, 466–469.

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.

Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR (2009):
Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices.
J Endod 35, 791–804.

Guerisoli DMZ, Marchesan MA, Walmsley AD, Lumley PJ, Pecora JD (2002):
Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation.
Int Endod J 35, 418–421.

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.

Hahn FL, Reygadas F (1951):
Demineralisation of hard tissues.
Science 114, 462–463.

Hand RE, Smith ML, Harrison JW (1978):
Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite.
J Endod 4, 60–64.

Harrison JW, Wagner GW, Henry CA (1990):
Comparison of the antimicrobial effectiveness of regular and fresh scent clorox.
J Endod 16, 328–330.

Hata G, Uemura M, Weine FS, Toda T (1996):
Removal of smear layer in the root canal using oxidative potential water.
J Endod 22, 643–645.

Hata G, Hayami S, Weine FS, Toda T (2001):
Effectiveness of oxidative potential water as a root canal irrigant.
Int Endod J 34, 308–317.

Hauman CHJ, Love RM (2003):
Biocompatibility of dental materials used in contemporary endodontic therapy: a review. Part 1. intracanal drugs and substances.
Int Endod J 36, 75–85.

Hauser V, Braun A, Frentzen M (2007):
Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®).
Int Endod J 40, 644–652.

Hess W (1917):
Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apikale.
Schweiz Vierteljahresschr Zahnheilkd 27, 1-52.

Horiba N, Maekawa Y, Abe Y, Ito M, Matsumoto T, Nakamura H (1991):
Correlations between endotoxin and clinical symptoms or radiolucent areas in infected root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 71, 492–495.

Hottel TL, El-Refai NY, Jones JJ (1999):
A comparison of the effects of three chelating agents on the root canals of extracted human teeth.
J Endod 25, 716–717.

Hsieh Y, Gau CH, Kung Wu SF, Shen EC, Hsu PW, Fu E (2007):
Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis.
Int Endod J 40, 11–17.

Hülsmann M (1997):
Die Wurzelkanalspülung.
Endodontie 6, 47–62.

Hülsmann M (2006):
Die Desinfektion des endodontischen Systems.
Endodontie 15, 147–168.

Hülsmann M (2008):
Symptomatologie und Therapie von Zwischenfällen bei der Wurzelkanalspülung mit Natriumhypochlorit.
Endodontie 17, 251–253.

Hülsmann M, Hahn W (2000):
Complications during root canal irrigation – literature review and case reports.
Int Endod J 33, 186–193.

Hülsmann M, Rümmelin C, Schäfers F (1997):
Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation.
J Endod 23, 301–306.

Hülsmann M, Schade M, Schäfers F (2001):
A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantex SC rotary Ni-Ti instruments.
Int Endod J 34, 538–546.

Hülsmann M, Heckendorff M, Schäfers F (2002):
Comparative in-vitro evaluation of three chelator pastes.
Int Endod J 35, 668–679.

Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F (2003a):
A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and Hero 642 rotary Ni-Ti instruments.
Int Endod J 36, 358–366.

Hülsmann M, Herbst U, Schäfers F (2003b):
Comparative study of root-canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments.
Int Endod J 36, 748–756.

Hülsmann M, Heckendorf M, Lennon Á (2003c):
Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use.
Int Endod J 36, 810–830.

Imura N, Pinheiro ET, Gomes BPFA, Zaia AA, Ferraz CCR, Souza-Filho FJ (2007):
The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist.
J Endod 33, 1278–1282.

Izu KH, Thomas SJ, Zhang P, Izu AE, Michalek S (2004):
Effectiveness of sodium hypochlorite in preventing inoculation of periapical tissues with contaminated patency files.
J Endod 30, 92–94.

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.

Kennedy WA, Walker III WA, Gough RW (1986):
Smear layer removal effects on apical leakage.
J Endod 12, 21–27.

Khedmat S, Shokouhinejad N (2008):
Comparison of the efficacy of three chelating agents in smear layer removal.
J Endod 34, 599–602.

Kockapan C (1986):
Oberflächenstruktur der Kanalwand nach Aufbereitung mit vibrierenden Instrumenten.
Dtsch Zahnärztl Z 41, 778–782.

Kockapan C (1995):
Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelbehandlung - Eine Übersicht.
Endodontie 1, 33–48.

Köhrer W, Köhrer PC (2005):
Innovatives Wurzelkanalspülhandstück im Praxiseinsatz.
ZMK 21, 790–791.

Kokkas AB, Boutsioukis AC, Vassiliadis LP, Stavrianos CK (2004):
The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study.
J Endod 30, 100–102.

Krause TA, Liewehr FR, Hahn C (2007):
The antimicrobial effect of MTAD, Sodium hypochlorite, Doxycycline, and Citric acid on Enterococcus faecalis.
J Endod 33, 28–30.

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.

Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V (2003):
Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde™ File Prep in smear layer removal.
Int Endod J 36, 336–343.

Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S, Boutsikoukis A (1997):
The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation.
Int Endod J 30, 51–57.

Littmann SH (1977):
Evaluation of root canal debridement by use of a radiopaque medium.
J Endod 3, 135–138.

Love RM (2001):
Enterococcus faecalis - a mechanism for its role in endodontic failure.
Int Endod J 34, 399–405.

Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW (1992):
Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals.
J Endod 18, 616–619.

Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW (1993):
Cleaning of oval canals using ultrasonic or sonic instrumentation.
J Endod 19, 453–457.

Lussi A, Nussbächer U, Grosrey J (1993):
A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system.
J Endod 19, 549–553.

Lussi A, Messerli L, Hotz P, Grosrey J (1995):
A new non-instrumental technique for cleaning and filling root canals.
Int Endod J 28, 1–6.

Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD (1984):
Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls.
J Endod 10, 477–483.

Madison S, Krell KV (1984):
Comparison of ethylendiaminetetraacetic acid and sodium hypochlorite on the apical seal of endodontically treated teeth.
J Endod 10, 499–503.

Mandel E, Machtou P, Friedman S (1990):
Scanning electron microscope observation of canal cleanliness.
J Endod 16, 279–283.

Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M (2007):
Effect of sodium hypochlorite on human root dentine - mechanical, chemical and structural evaluation.
Int Endod J 40, 786–793.

Mayer BE, Peters OA, Barbakow F (2002):
Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study.
Int Endod J 35, 582–589.

McComb DB, Smith DC (1975):
A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures.
J Endod 1, 238–242.

McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng Y-L (2008):
The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model.
Int Endod J 41, 602–608.

McGurkin-Smith R, Trope M, Caplan D, Sigurdsson A (2005):
Reduction of intracanal bacteria using GT Rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and $Ca(OH)_2$.
J Endod 31, 359–363.

Meryon SD, Brook AM (1990):
Penetration of dentin by three bacteria in vitro and their associated cytotoxicity.
Int Endod J 23, 196–202.

Metzler RS, Montgomery S (1989):
The effectiveness of ultrasonics and calcium hydroxide for the debridement of human mandibular molars.
J Endod 15, 373–378.

Meyer W (1970):
Die Anatomie der Wurzelkanäle, dargestellt an mikroskopischen Rekonstruktionsmodellen.
Dtsch Zahnärztl Z 25, 1064–1077.

Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F (2001):
The structure of dentine in the apical region of human teeth.
Int Endod J 34, 346–353.

Mohammadi Z, Abbott PV (2009):
The properties and applications of chlorhexidine in endodontics.
Int Endod J 42, 288–302.

Nygaard-Østby B (1957):
Chelation in root canal therapy EDTA for cleaning and widening of root canals.
Odont Tidskr 65, 3–11.

O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC (2000):
A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA.
J Endod 26, 739–743.

Okşan T, Aktener BO, Şen BH, Tezel H (1993):
The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. a scanning electron microscopic study.
Int Endod J 26, 301–305.

Panighi M, Jacquot B (1995):
Scanning electron microscopic evaluation of ultrasonic debridement comparing sodium hypochlorite and Bardac-22.
J Endod 21, 272–276.

Passarinho-Neto J, Marchesan M, Ferreira R, Silva R, Silva Sousa Y, Sousa-Neto M (2006):
In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation.
Aust Endod J 32, 123–128.

Pawlicka H (1982):
Verwendung der Chelatverbindungen zur Erweiterung der Wurzelkanäle Mikrohärteuntersuchung.
Stomatol der DDR 32, 355–361.

Pawlicka H, Nowacka K (1982):
Die Verwendung von Chelatoren zur Wurzelkanalerweiterung Bakteriologische Untersuchungen.
Stomatol der DDR 32, 257–261.

Pawlicka H, Piatkowska D, Hajudkiewicz G (1981):
Effektivität der Spülmittel bei der Wurzelkanalaufbereitung Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop.
Stomatol der DDR 31, 684–688.

Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP (2006):
The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation.
J Endod 32, 993–997.

Petschelt A, Oberschachtsiek H (1985):
Über die Schmierschicht (»Smear Layer«) nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung).
Dtsch Zahnärztl Z 40, 845–849.

Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F (2007):
Ultrasonics in endodontics: a review of the literature.
J Endod 33, 81–95.

Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M (2006):
Killing of Enterococcus faecalis by MTAD and chlorhexidine digluconate with or without cetrimide in the presence or absence of dentine powder or BSA.
J Endod 32, 138–141.

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

Reynolds M, Madison S, Walton RE, Krell K, Rittman B (1987):
An in vitro histological comparison of the step-back, sonic, and ultrasonic instrumentation techniques in small, curved root canals.
J Endod 13, 307–314.

Ringel 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, Hülsmann M, Kahlmeier C (2007):
Comparison of root canal prepartion with pro rotary NiTi intruments: ProFile .04 and GT Rotary.
Int Endod J 40, 553–562.

Rollison S, Barnett F, Stevens RH (2002):
Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 94, 366–371.

Rosenfeld EF, James GA, Burch BS (1978):
Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite.
J Endod 4, 140–146.

Ruddle C (2007):
Hydrodynamic Disinfection: Tsunami Endodontics.
Dentistry Today 9, 1–9.

Ruff ML, McClanahan SB, Babel BS (2006):
In vitro antifungal efficacy of four irrigants as a final rinse.
J Endod 32, 331–333.

Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW (2003):
A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic Passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals.
J Endod 29, 674–678.

Scelza MFZ, Antoniazzi JH, Scelza P (2000):
Efficacy of final irrigation - a scanning electron microscopic evaluation.
J Endod 26, 355–358.

Schäfer E (2007):
Irrigation of the root canal.
ENDO - Endodontic Practice Today 1, 11–28.

Schäfer E, Bössmann K (2005):
Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and two calcium hydroxide formulations against Enterococcus faecalis.
J Endod 31, 53–56.

Schneider SW (1971):
A comparison of canal preparations in straight and curved root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32, 271–275.

Şen BH, Safavi KE, Spångberg L (1999):
Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals.
J Endod 25, 235–238.

Şen BH, Wesselink PR, Türkün M (1995):
The smear layer: a phenomenon in root canal therapy.
Int Endod J 28, 141–148.

Shovelton DS (1964):
The presence and distribution of micro-organism within non-vital teeth.
Br Dent J 117, 101–107.

Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M (2000):
Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications.
J Endod 26, 751–755.

Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M (2005):
The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy.
J Endod 31, 669–671.

Sjögren U, Sundqvist G (1987):
Bacteriologic evaluation of ultrasonic root canal instrumentation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 63, 366–370.

Sonntag D, von Abendroth N, Stachniss V (2005):
Wurzelkanalaufbereitung mit NiTi-FlexMaster- und M-File-Instrumenten.
Dtsch Zahnärztl Z 60, 268–274.

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.

Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB (2006):
Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol.
J Endod 32, 785–788.

Stewart GG (1998):
A scanning electron microscope study of the cleansing effectiveness of three irrigating modalities on the tubular structure of dentin.
J Endod 24, 485–486.

Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K (1999):
A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser.
Int Endod J 32, 32–39.

Teixeira CS, Felippe MCS, Felippe WT (2005):
The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis.
Int Endod J 38, 285–290.

Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH (2001):
Effect of removal of the smear layer on apical microleakage.
J Endod 27, 351–353.

Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK, Linda L (2002):
Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 94, 658–666.

Townsend C, Maki J (2009):
An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal.
J Endod 35, 1040–1043.

van der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR (2005):
The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper.
Int Endod J 38, 764–768.

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

van der Sluis LWM, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR (2007a):
An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings.
Int Endod J 40, 356–361.

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

Walmsey A (1987):
Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation.
Int Endod J 20, 105–111.

Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG (2002):
Efficacy of irrigation with rotary instrumentation.
J Endod 28, 837–839.

Yamada RS, Armas A, Goldman M, Sun Lin P (1983):
A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3.
J Endod 9, 137–142.

Yamashita JC, Tanomaru Filho M, Leonardo MR, Rossi MA, Silva LAB (2003):
Scanning electron microscopic study of the cleaning ability of chlorhexidine as a root-canal irrigant.
Int Endod J 36, 391–394.

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

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

Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann für die Überlassung des Themas und die immer geduldige und unterstützende Betreuung während der praktischen und literarischen Phase der Studie bedanken. Sowie bei Herrn Dr. Klaus Jung, für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Lebenslauf

Am 16.11.1978 wurde ich als Sohn von Hubert und Inge Döllmann in Heilbad Heiligenstadt geboren. Von 1986 bis 1990 besuchte ich in Heiligenstadt die Grundschule und wechselte 1990 an die Theodor Storm Realschule in Heilgenstadt. Danach erlangte ich die allgemeine Hochschulreife am staatlichen Gymnasium Heilbad Heiligenstadt, heutiges Lingemann Gymnasium. Das Abitur schloss ich mit der Durchschnittsnote 1,6 1997 ab. Im direktem Anschluss leistete ich den Grundwehrdienst beim 3. Panzerartilleriebataillon 2 in Hessisch Lichtenau. Von 1998 bis 2003 studierte ich Zahnheilkunde an der Georg-August-Universität zu Göttingen. Das Studium beendete ich im Dezember 2003 mit dem Staatsexamen. Vom 01.02.2004 bis zum 31.03.2005 war ich bei Herrn Franz Kettmann in Wallenhorst als Ausbildungsassistent beschäftigt. Ich wechselte meine Arbeitsstelle zum 01.04.2005 zu Frau Brigitte und Herrn Dr. med. dent. Otto Gunkel. Hier war ich bis zum 30.03.2006 als Ausbildungsassistent beschäftigt. Ab dem 1.4.2006 übernahmen Frau Rayla Schreiber und ich gemeinsam die Zahnarztpraxis von Frau und Herrn Dr. Gunkel. Unsere Berufsausübungsgemeinschaft endete am 30.09.2009. Seit dem 01.10.2009 führe ich die Praxis allein. Um das Thema der vorliegenden Studie bemühte ich mich zum auslaufenden Jahr 2007. Das Arbeitsthema entstand bis Mitte 2008. Die Untersuchungen wurden im Sommer 2008 durchgeführt.