

Forschung · Wissenschaft Recherche · Science

Editor-in-chief
Chefredaktor
Rédacteur en chef
Jürg Meyer, Basel

Editors
Redaktoren
Rédacteurs
Urs Belser, Genève
Peter Hotz, Bern
Heinz Lüthy, Zürich

Assistant Editor
Redaktions-Assistentin
Rédactrice assistante
Andrea Wölner-Hanssen, Basel

Advisory board / Gutachtergremium / Comité de lecture

P. Baehni, Genève
F. Barbakow, Zürich
J.-P. Bernard, Genève
C.E. Besimo, Basel
M. Bickel, Bern
S. Bouillaguet, Genève
U. Brägger, Bern
E. Budtz-Jørgensen, Genève
D. Buser, Bern
M. Cattani, Genève
B. Ciucchi, Genève
K. Dula, Bern
A. Filippi, Basel
J. Fischer, Bern
L.M. Gallo, Zürich
R. Glauser, Zürich
R. Gmür, Zürich
W. Gnoinski, Zürich
K.W. Grätz, Zürich

Ch. Hämmerle, Zürich
N. Hardt, Luzern
T. Imfeld, Zürich
K.H. Jäger, Basel
J.-P. Joho, Genève
S. Kiliaridis, Genève
I. Krejci, Genève
J.Th. Lambrecht, Basel
N.P. Lang, Bern
T. Lombardi, Genève
H.U. Luder, Zürich
A. Lussi, Bern
P. Magne, Genève
C. Marinello, Basel
G. Menghini, Zürich
R. Mericske-Stern, Bern
J.-M. Meyer, Genève
A. Mombelli, Genève
W. Mörmann, Zürich

G. Pajarola, Zürich
S. Palla, Zürich
S. Paul, Zürich
M. Perrier, Lausanne
M. Richter, Genève
H.F. Sailer, Zürich
J. Samson, Genève
U. Saxer, Zürich
P. Schärer, Zürich
J.-P. Schatz, Genève
P. Schüpbach, Horgen
P. Stöckli, Zürich
U. Teuscher, Zürich
H. van Waes, Zürich
P. Velvart, Zürich
T. von Arx, Bern
A. Wichelhaus, Basel
J. Wirz, Basel
A. Wiskott, Genève

Publisher
Herausgeber
Editeur
Schweizerische Zahnärzte-Gesellschaft SSO
Société Suisse d'Odonto-Stomatologie
CH-3000 Bern 7

Adresse der wissenschaftlichen Redaktion
Prof. Jürg Meyer
Zentrum für Zahnmedizin
Institut für Präventivzahnmedizin und Orale Mikrobiologie
Hebelstr. 3
4056 Basel

Apikale Dichtigkeit von Wurzelfüllungen an oberen Prämolaren

Ein Vergleich von orthograd gefüllten, wurzelspitzenresezierten und retrograd gefüllten Zähnen

Zusammenfassung

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mittels Farbstoffpenetrationstest an oberen, einwurzeligen, zweikanaligen Prämolaren untersucht. Dabei sollte überprüft werden, ob die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung durch eine Wurzelspitzenresektion bzw. eine WSR mit zusätzlicher retrograder Wurzelfüllung verbessert werden kann. Hierzu wurden 51 obere, einwurzelige, zweikanalige Prämolaren mit Kanalkonfigurationen des Typs II (zwei Kanäle, ein apikales Foramen) ausgewählt und nach dem Zufallsprinzip in drei Untergruppen zu je 17 Zähnen aufgeteilt. Alle Zähne wurden zunächst wurzelgefüllt; die Zähne der Gruppen II und III wurden wurzelspitzenreseziert, wobei die Zähne der Gruppe III mit einer zusätzlichen retrograden Füllung (Ketac-Bond[®]) versehen wurden. Gruppe I (keine WSR) diente als Kontrollgruppe. Nach Wasserlagerung wurden alle Zähne einer Farbstoffexposition in 5%iger Methylenblaulösung ausgesetzt. Die Messung der Penetrationstiefen erfolgte nach Herstellung serieller Querschnitte. Dabei ergaben sich für die wurzelspitzenresezierten Zähne (Gruppe II), verglichen mit den beiden anderen Gruppen, die mit Abstand besten Resultate hinsichtlich der Dichtigkeit gegenüber Methylenblau (jeweils $p < 0,001$; Mann-Whitney). Der Unterschied zwischen den Zähnen der Gruppen I und III war ebenfalls signifikant ($p = 0,024$). Bei Zähnen mit lateralen Seitenkanälen wurden mit durchschnittlichen Penetrationstiefen von $3557 \mu\text{m} (\pm 1337 \mu\text{m})$ höhere Werte ermittelt als bei Zähnen ohne laterale Seitenkanäle ($3096 \mu\text{m} \pm 1931 \mu\text{m}$). Die höchste mittlere Penetrationstiefe wurde in Gruppe III ermittelt; hier wurde in nahezu allen Fällen eine zirkuläre Farbstoffpenetration beobachtet. Der retrograde Verschluss wurzelkanalgefüllter Zähne mit Glasionomerzement sollte kritisch überdacht werden.

JAN PHILIP REISTER, KAMELIA STARIBRATOVA-REISTER, ANDREJ M. KIELBASSA

Freie Universität Berlin, Universitätsklinikum Benjamin-Franklin, Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung Restaurative Zahnmedizin, Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

Schweiz Monatsschr Zahnmed 112: 998–1005 (2002)

Schlüsselwörter

Prämolaren, Wurzelkanalanatomie, Wurzelspitzenresektion, Retrograde Wurzelfüllung

Zur Veröffentlichung angenommen: 18. Juni 2002

Einleitung

Die Wurzelkanalaufbereitung sollte die Elimination des infizierten Pulpagewebes und Kanalwanddentins sowie die chemische Desinfektion des Wurzelkanalsystems zum Ziel haben. Dabei ist es vor allem wichtig, die Form der Wurzelkanäle während der Aufbereitung weitgehend zu erhalten. Auf Grund der komplexen Morphologie ist es jedoch technisch unmöglich, das gesamte endodontische Hohlraumsystem vollständig aufzubereiten (HÜLSMANN 2000). Eine Wurzelkanalbehandlung stellt daher keine vollständige Keimelimination, sondern lediglich eine Keimreduktion dar. Für endodontische Misserfolge sind demnach hauptsächlich im Wurzelkanalsystem verbleibende Bakterien verantwortlich (NAIR et al. 1990).

Ein Grossteil der betroffenen Zähne kann im Falle einer persistierenden Entzündung durch eine konservative Revision der Wurzelfüllung erhalten werden. Lediglich bei einem Scheitern der Revision ist eine chirurgische Intervention in Form einer Wurzelspitzenresektion indiziert (GULDENER 1994). Zusätzlich zu einer Wurzelspitzenresektion kann die Resektionsstelle mit einer retrograden Füllung versehen werden, um Undichtigkei-

Korrespondenzadresse:

Jan Philip Reister
Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie,
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
Assmannshäuser Str. 4–6
D-14197 Berlin
Telefon +49-30-84 45 62 07
Fax +49-30-84 45 62 04
E-Mail: jreister@zedat.fu-berlin.de

ten der Wurzelfüllung im apikalen Bereich oder interkanalikuläre Anastomosen zu verschliessen. Ein Nachteil dieser Methode ist vor allem die hohe Empfindlichkeit der meisten Materialien gegenüber der im Operationsgebiet vorhandenen Feuchtigkeit (SUTIMUNTANAKUL et al. 2000). Glasionomerzement hat sich als ein mögliches Material für retrograde Verschlüsse bewährt (ZETTERQVIST et al. 1991). Neben einer guten Biokompatibilität besitzen Polyalkenoate die Eigenschaft, an Dentin zu haften (SUTIMUNTANAKUL et al. 2000). In jüngerer Zeit wurden auch die Materialien MTA (mineral trioxide aggregate), IRM (intermediate restorative material) und Super-EBA-Zement für diese Indikationen vorgeschlagen. Unter diesen scheint MTA im Vergleich zu IRM und Super-EBA-Zement bessere Eigenschaften hinsichtlich seiner Dichtigkeit als retrogrades Füllmaterial aufzuweisen (TANG et al. 2002).

Die Dichtigkeit retrograder Wurzelfüllungen wurde in der Vergangenheit häufig untersucht; in der zur Verfügung stehenden Literatur konnten jedoch keine Angaben zur apikalen Dichtigkeit wurzelspitzenresezierter Zähne ohne zusätzliche Wurzelfüllungen gefunden werden. Es existieren lediglich einige klinische retrospektive Studien, die sich mit den Erfolgsquoten von Wurzelspitzenresektionen mit und ohne retrograde Wurzelfüllungen beschäftigen. Dabei kommen einige Untersuchungen zu besseren Ergebnissen für Wurzelspitzenresektionen ohne zusätzliche retrograde Füllungen (RUD et al. 1972). Die dort aufgeführten Studien sind jedoch, wie auch vergleichbare andere Untersuchungen, meist älteren Datums und weisen ein sehr inhomogenes Studiendesign auf.

An oberen Prämolaren sind Wurzelkanalbehandlungen häufig von Misserfolgen begleitet. Sie stellen daher einen überproportionalen Anteil der zu revidierenden Zähne dar (BERGENHOLTZ et al. 1979). Eine der Hauptursachen ist ihre komplexe anatomische Struktur (VERTUCCI et al. 1974). VERTUCCI et al. (1974) nah-

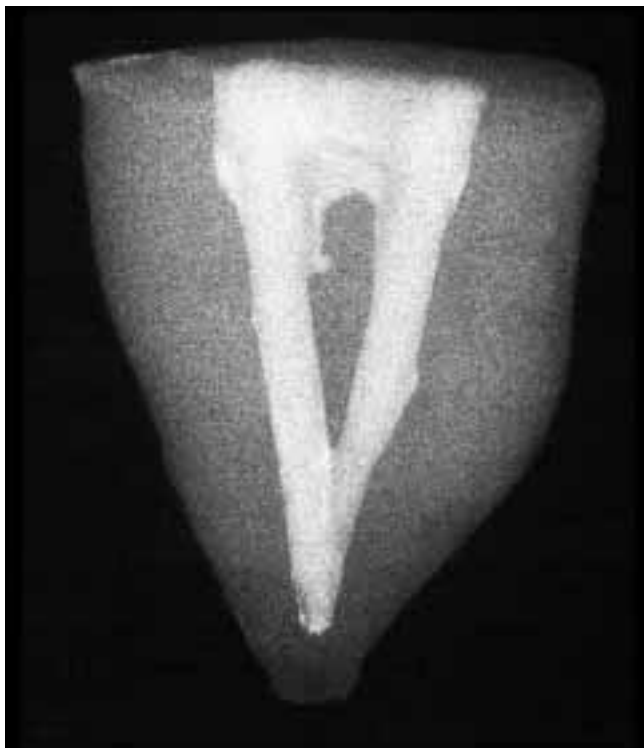


Abb. 1 Röntgenbild eines wurzelgefüllten Zahnes vom Typ II. Beide Kanäle verlassen getrennt die Pulpahöhle und vereinigen sich vor dem Apex, um aus einem Foramen auszutreten

men anhand der Auswertung von 200 extrahierten zweiten oberen Prämolaren eine Einteilung gemäss der Kanalkonfiguration in acht verschiedene Gruppen vor, die später von KARTAL et al. (1998) auf die ersten oberen Prämolaren ausgedehnt und um eine zusätzliche Gruppe erweitert wurde.

Obere Prämolaren besitzen ein bis drei Wurzeln sowie ein bis drei Wurzelkanäle (VERTUCCI et al. 1974, VERTUCCI & GEGAUFF 1979). Einwurzelige zweikanalige Prämolaren sind unter den oberen ersten Prämolaren häufiger (29%) anzutreffen als unter den zweiten oberen Prämolaren (21%) (KARTAL et al. 1998). Ihre Kanalkonfigurationen weisen die höchste Variationsbreite auf. Einwurzelige zweikanalige Prämolaren vom Typ II besitzen ein apikales Foramen und zwei Kanäle, die sich vor dem Apex vereinigen. Laterale Kanäle sind bei diesen Zähnen häufig anzutreffen und befinden sich überwiegend im apikalen Wurzeldrittel (VERTUCCI & GEGAUFF 1979). Entwicklungsgeschichtlich differenzieren sich bei einwurzelligen zweikanaligen Prämolaren aus einem grossvolumigen Einkanalssystem durch Einlagerung von Dentin zwei Kanäle, wobei nach der Abschnürung der einzelnen Kanäle zahlreiche Anastomosen verbleiben (GREEN & BROOKLYN 1973, HESS 1917). Sowohl laterale Kanäle als auch interkanalikuläre Anastomosen können Nischen für verbleibende Bakterien darstellen, von denen aus eine Reinfektion des Kanalsystems möglich ist.

Aus diesen Gründen wurden einwurzelige zweikanalige Prämolaren vom Typ II zu dieser Studie herangezogen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war, die apikale Dichtigkeit von wurzelgefüllten, wurzelspitzenresezierten und zusätzlich retrograd gefüllten Prämolaren vom Typ II zu vergleichen.

Material und Methoden

Für die vorliegende Untersuchung wurden insgesamt 51 extrahierte, obere, einwurzelige, zweikanalige Prämolaren aus einem Pool von unselektierten, extrahierten Zähnen aus verschiedenen Berliner Zahnarztpraxen ausgewählt, die bis zur Weiterverarbeitung in einer 0,9%igen Kochsalzlösung gelagert wurden. Es wurden ausschliesslich Zähne mit einer Kanalkonfiguration des Typs II herangezogen. Bei diesen Zähnen verlassen zwei Kanäle getrennt die Pulpahöhle, vereinigen sich vor dem Apex und treten aus einem Foramen aus (Abb. 1).

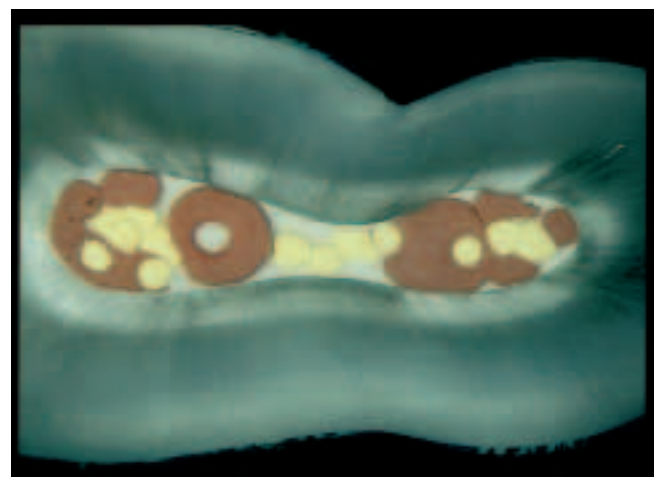


Abb. 2 Der Querschnitt dieses Zahnes zeigt die Masterpoints und die akzessorischen Guttaperchastifte der mittels lateraler Kondensation gefüllten Wurzelkanäle (Schnitthöhe 7 mm vor dem Apex)

Die Zähne wurden mit einem Ultraschallscaler von Konkrementen und Resten desmodontaler Fasern befreit. Anschliessend wurde die klinische Krone mit einer diamantierten Trennscheibe entfernt. Alle Zähne wurden durchnummeriert.

Aufbereitung der Kanäle

Zur Aufbereitung wurden die Kanäleingänge mit Gates-Gliden-Bohrern der Grössen 1 bis 4 in absteigender Reihenfolge erweitert. Zur Festlegung der Arbeitslänge wurde ein Reamer der ISO-Grösse 15 so weit in den Kanal eingeführt, bis seine Spitze am *foramen apicale* zu sehen war. Von dieser Länge wurde 1 mm abgezogen. Die Zähne wurden apikal bis zu einer ISO-Grösse von 55 (apikale Masterfeile) mit Kerr-Räumern (Typ Kerr-file) und Hedströmfeilen aufbereitet. Nach jedem Instrumentenwechsel erfolgte eine Spülung mit ca. 1 ml einer 2%igen Natriumhypochloritlösung. Abschliessend wurden die Kanäle bis auf ISO-Grösse 80 (Finale Feile) mittels Step-back-Technik konisch erweitert. Alle Wurzelkanalaufbereitungen wurden vor dem Abfüllen mit Hilfe einer Röntgenmasterpointaufnahme auf die korrekte Aufbereitung, die Arbeitslänge und den Sitz der Masterpoints überprüft.

Die Wurzeloberflächen aller Zähne wurden bis auf die letzten 3 mm zum *foramen apicale* mit drei Schichten eines schnell-trocknenden Nagellacks auf Azetonbasis bedeckt.

Zur Wurzelfüllung wurden der Sealer AH Plus® (DeTrey Dentsply; Konstanz, Deutschland) sowie normierte Guttaperchaspitzen verwendet, die mit Hilfe der lateralen Kondensation eingebracht wurden (Abb. 2). Anschliessend wurden die überstehenden Wurzelstifte mit einem heissen Exkavator auf Höhe des Kanäleinganges abgetrennt und die gefüllten Zähne provisorisch mit Cavit® (ESPE Dental AG; Seefeld, Deutschland) verschlossen. Bei allen Zähnen wurde eine Röntgen-Kontrollaufnahme durchgeführt und die Zähne anschliessend definitiv mit einem Kompomer (Dyract AP®, DeTrey Dentsply; Konstanz, Deutschland) verschlossen. Danach erfolgte die Lackierung der bisher unbedeckten, koronalen Anteile.

Um ein vollständiges Aushärten des Sealers zu gewährleisten, wurden die gefüllten Wurzeln für 48 Stunden bei 37 °C und 100% Luftfeuchtigkeit gelagert. Alle Prämolaren wurden nach dem Zufallsprinzip in drei Gruppen zu je 17 Zähnen aufgeteilt. Gruppe I wurde nicht weiterbehandelt und diente als Kontrollgruppe.

Wurzelspitzenresektion

Bei den Zähnen der Gruppe II wurde eine Wurzelspitzenresektion in einem Winkel von 90° zur Zahnachse vorgenommen. Dafür wurden mit einem hochtourigen, walzenförmigen Hart-

metallbohrer 3 mm der Wurzelspitze abgetrennt und mit Hartmetall-Finierinstrumenten geglättet.

Die Zähne der Gruppe III wurden zunächst der gleichen Behandlung unterzogen wie die Zähne der Gruppe II. Nach der Resektion der Wurzelspitze wurde apikal eine beide Kanäle miteinander verbindende, 3 mm tiefe Kavität präpariert, die über die Wurzelfüllungen hinausging. Die Präparation erfolgte mit dem SONICflex retro® (KaVo; Biberach, Deutschland) und der dazu gehörenden diamantierten Spitze Nr. 20 unter Wasserkühlung. Die entstandenen Kavitäten wurden getrocknet und mit Ketac-Fil® (ESPE Dental AG; Seefeld, Deutschland) verschlossen. Dieser wurde mit Hilfe eines Stopfers leicht überschüssig eingebracht und nach dem Legen mit einem Lack (Harvard-Lack®, Harvard Dental-GmbH; Berlin) 7 Minuten bis zum Ende des Abbindevorganges geschützt. Abschliessend wurde die retrograde Füllung mit einem Hartmetallfinierinstrument geglättet.

Farbstoffexposition und Herstellung serieller Querschnitte

Um eventuelle Luftsinschlüsse zu eliminieren, wurden die gefüllten Wurzeln in einer thymolhaltigen (0,1%) Natriumchlorid-Lösung (0,9%) für 30 Tage bei 37 °C gelagert. Anschliessend erfolgte eine Farbstoffexposition für 48 Stunden bei 37 °C in 5%iger Methylenblaulösung.

Die Zahnwurzeln wurden für 30 Minuten unter fliessendem Leitungswasser gespült und anschliessend getrocknet. Nach Entfernung des Nagellacks wurden alle Zahnwurzeln in Akemi® (Wirtz-Buehler; Düsseldorf, Deutschland) eingebettet.

Danach folgte die Herstellung serieller Querschnitte. Alle Querschnitte wurden mit einer Niedertour-Diamantsäge (Wirtz-Buehler; Düsseldorf, Deutschland) vorgenommen. Die Dicke des Sägeblatts betrug 360 µm. Die Zahnwurzeln der Kontrollgruppe I wurden so eingespannt, dass sich die Schnittfläche im rechten Winkel zur Zahnachse befand. Die Resektionsfläche der Zähne der Gruppen II und III wurde parallel zum Sägeblatt ausgerichtet. Die Zähne wurden von apikal nach koronal in einem Abstand von 700 µm gesägt, wobei die einzelnen Querschnitte jedes Zahnes mit fortlaufenden Nummern versehen wurden. Für die Anzahl der Querschnitte wurde folgender Modus festgelegt: Grundsätzlich wurde bei allen Zähnen so weit gesägt, bis keine Verfärbung mehr sichtbar war. Bei Gruppe I wurden unabhängig von der Penetrationstiefe mindestens 5 Querschnitte angefertigt, sodass die Schnitttiefe in jedem Fall die unlackierte Zahnoberfläche überschritt. Ebenfalls unabhängig von der Tiefe der Penetration wurde die Mindestschnitttiefe der Zähne der Gruppe III auf das Erreichen der Gut-tapercha beider Kanäle festgelegt.

Tab. 1 Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichungen der Penetrationstiefen der einzelnen Versuchsgruppen unter Berücksichtigung vorhandener Seitenkanäle

Gruppen	Seitenkanäle	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
I	Gesamt	17	3258	1715	1180	8055
	ja	6	3557	1337	2440	5600
	nein	11	3096	1931	1180	8055
II	Gesamt	17	1397	1021	0	3830
	ja	0				
	nein	17	1397	1021	0	3830
III	Gesamt	17	4284	1880	1130	8040
	ja	3	5137	1218	3870	6300
	nein	14	4101	1979	1130	8040
Gesamt	ja	9	4083	1454	2440	6300
	nein	42	2743	1993	0	8055



Abb. 3 Seitenkanal im apikalen Abschnitt einer gefüllten Zahnwurzel (Schnitthöhe 1,4 mm vor dem Apex)

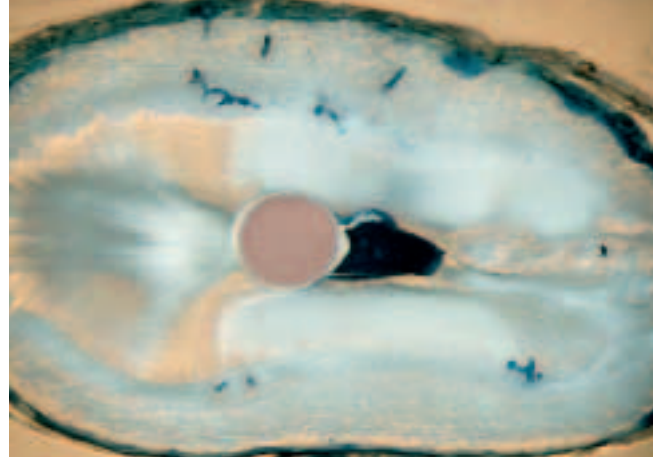


Abb. 4 Ungefüllte Ausbuchtung neben einer Wurzelfüllung im apikalen Abschnitt eines Wurzelkanals (Schnitthöhe 4,2 mm vor dem Apex)

Die seriellen Querschnitte wurden auf Objektträgern fixiert und mit Deckgläsern bedeckt.

Die Auswertung der Penetrationstiefe erfolgte mit Hilfe eines Stereolichtmikroskops mit Auflichtaufsatz bei 32facher Vergrößerung. Jeder Querschnitt wurde sowohl auf der apikalen als auch der koronalen Schnittfläche auf seine Farbpenetration entlang der Wurzelfüllung untersucht. Dabei wurde dokumentiert, ob diese sich bis an den Anfang oder an das Ende eines Querschnitts erstreckte. Darüber hinaus wurde registriert, ob eine Verfärbung von apikal oder von einem Seitenkanal stammte. Da sowohl Schichtdicke als auch Materialverlust durch das Sägeblatt bekannt waren, konnte für jeden Zahn die Tiefe der Farbpenetration ermittelt werden.

Die Daten wurden mit dem Programm SPSS 10.0 statistisch ausgewertet. Ermittelt wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichung. Nach Varianzanalyse wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests die Unterschiede auf ihre Signifikanz geprüft. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

Resultate

In Tabelle I sind die durchschnittlichen Farbpenetrationstiefen der einzelnen Gruppen dargestellt, Tabelle II zeigt die Ergebnisse des Mann-Whitney-Tests.

Für die Zähne der Gruppe I lag die durchschnittliche Penetrationstiefe bei $3258 \mu\text{m}$ ($\text{SD} \pm 1715 \mu\text{m}$). Die Gruppe II zeigte mit $1397 \mu\text{m}$ ($\text{SD} \pm 1021 \mu\text{m}$) die niedrigste und die Gruppe III mit $4284 \mu\text{m}$ ($\text{SD} \pm 1880 \mu\text{m}$) die höchste durchschnittliche Farbpenetration.

Die durchschnittlichen Penetrationstiefen der Gruppe I (Kontrollgruppe) und III (wurzelspitzenresezierte Zähne mit retrograder Füllung) waren, verglichen mit denen der Gruppe II, hochsignifikant höher ($p < 0,000$ bzw. $p < 0,000$; Tab. II).

Tab. II Vergleich der Penetrationstiefen der einzelnen Gruppen I, II und III. Signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen sind durch Sterne gekennzeichnet

Vergleich	I	II	I	III	II	III
N	17	17	17	17	17	17
Mittlerer Rang	23,88	11,12	13,68	21,32	10,24	24,76
p=Signifikanz	0,0001	***	0,0238	*	<0,0000	***

Die durchschnittliche Penetrationstiefe der Gruppe III war höher als die der Gruppe I. Dieser Unterschied war ebenfalls signifikant ($p = 0,024$; Tab. II).

In Gruppe I befanden sich sechs Zähne, deren Hauptkanäle Seitenkanäle aufwiesen, d. h. eine Verbindung mit dem Parodontalspalt hatten (siehe Abb. 3). Die Penetrationstiefe bei Zähnen mit vorhandenen Seitenkanälen war im Mittel höher ($3557 \mu\text{m}$, $\text{SD} \pm 1337 \mu\text{m}$) als in der Gruppe ohne Seitenkanäle ($3096 \mu\text{m}$, $\text{SD} \pm 1931 \mu\text{m}$). Zudem konnten an einigen Zähnen ungefüllte Ausbuchtungen der Kanalwand (Abb. 4) oder interkanalikuläre Anastomosen beobachtet werden (Abb. 5).

In der Gruppe II konnten an keinem Zahn Seitenkanäle nachgewiesen werden. In der Gruppe III gab es drei Fälle vorhandener Seitenkanäle. Auch hier war die Penetrationstiefe im Mittel grösser ($5137 \mu\text{m}$, $\text{SD} \pm 1218 \mu\text{m}$) als bei Nichtvorhandensein lateraler Kanäle ($4101 \mu\text{m}$, $\text{SD} \pm 1979 \mu\text{m}$) (Tab. II). An fast allen retrograden Füllungen waren zirkuläre Verfärbungen sichtbar, die in den meisten Fällen die Wurzelfüllung erreichten (Abb. 6)

Diskussion

Um bei der Wurzelkanalaufbereitung einen apikalen Stopp zu erzielen, wurde darauf geachtet, dass bei allen Zähnen das Wurzelwachstum abgeschlossen war. Zähne mit obliterierten Wurzelkanälen wurden bei dieser Studie ausgeschlossen. Durch die zufällige Einteilung in drei Gruppen wurden für alle Zähne gleiche Versuchsbedingungen geschaffen.

Die Step-back-Technik, die bei der Präparation der Wurzelkanäle zum Einsatz kam, erlaubt im Vergleich zur standardisierten Aufbereitungstechnik eine bessere Reinigung der Wurzelkanäle und gewährleistet eine weitgehende Beibehaltung des Kanalverlaufs (ALLISON et al. 1979). Da bei einigen Zähnen die Arbeitsinstrumente im apikalen Bereich erst ab einer ISO-Grösse von 35 griffen, wurden alle Kanäle in ihrer Arbeitslänge bis ISO-Grösse 55 aufbereitet, um das infizierte Kanalwandentin zu entfernen (GULDENER 1987). Im Anschluss daran erfolgte die konische Erweiterung der Wurzelkanäle mit Hilfe der Step-back-Technik bis auf ISO-Grösse 80. Eine konische Aufbereitung verbessert die Dichtigkeit einer lateralen kondensierten Wurzelfüllung (PLATZER & SEDELMAYER 1993) und vermindert die Gefahr einer Wurzelfraktur während des Füllens der Wurzelkanäle (HARVEY et al. 1981). Als Verfahren zur Wurzelfüllung wurde die laterale Kondensation gewählt, da sich mit ihr im Ver-

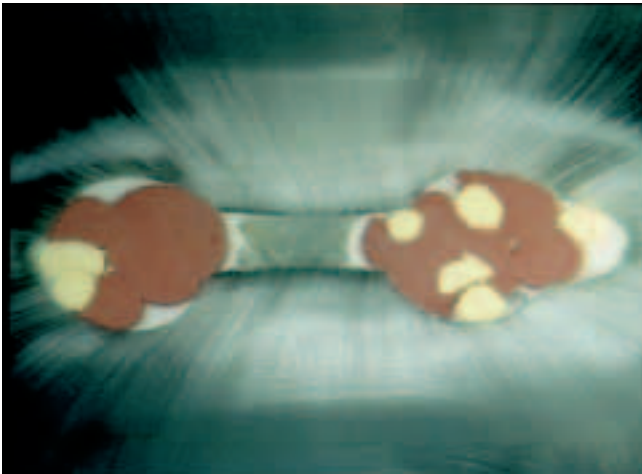


Abb. 5 Beispiel für eine ungefüllte interkanalikuläre Anastomose (Schnitthöhe 7,7 mm vor dem Apex)

gleich zur Zentralstifttechnik (BEATTY & ZAKARIASEN 1984) und zu anderen Fülltechniken (LA COMBE et al. 1988) eine höhere Dichtigkeit der Wurzelfüllung erzielen lässt. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass sich lateral kondensierte Wurzelfüllungen teilweise mangelhaft dem Kanalverlauf anpassen und Kanalausbuchtungen entweder unvollständig oder ausschliesslich mit Sealer gefüllt werden. Auch kann die Dicke der Schicht des Sealers innerhalb einer Wurzelfüllung grosse Variationen aufweisen (BRAYTON et al. 1973).

Der in dieser Studie verwendete Epoxidharzsealer AH Plus® weist ein gutes Abdichtungsvermögen sowie eine gute Volumenbeständigkeit auf (GETTLEMAN et al. 1991). Auf die Verwendung kalziumhydroxidhaltiger Sealer wurde bewusst verzichtet, da von einem Herauslösen der Kalziumionen durch den sauren pH-Wert von Methylblau berichtet wurde (WU & WESSELINK 1993).

In der vorliegenden Studie wurden 3 mm der Wurzelspitze entfernt, um sicherzugehen, dass die Wurzelkanalfüllung auch in Fällen, in denen der Kanal den Apex koronal der Wurzelspitze seitlich verlässt, die Wurzelfüllung erreichte. Die Präparation der retrograden Kavitäten mit Hilfe von schallgetriebenen Instrumenten folgte den allgemein empfohlenen Kriterien der klinischen Anwendung. Der Forderung nach einer Kavitätentiefe von 3 mm (GULDENER 1994) wurde ebenfalls nachgekommen.

Die Quantifizierung penetrierter Farbstoffe mit Hilfe von Farbstoffpenetrationstests wird durch die verfahrenstechnisch nicht durchführbare Untersuchung der gesamten Wurzelkanaloberfläche erschwert. Bei der von ROBERTSON und LEEB (1980) beschriebenen Methode der Dekalzifizierung werden die Zähne transparent gemacht und die Farbstoffexposition wird sichtbar, ohne dass der Zahn zerstört werden muss (ROBERTSON & LEEB 1980). Dabei ist jedoch die Messgenauigkeit stark eingeschränkt und Farbanteile, die sich zwischen Sealer und Wurzelkanalfüllung befinden, können nicht beurteilt werden. Bei Messungen mit Hilfe eines Spektralphotometers kann zwar eine Aussage über das Volumen des penetrierten Farbstoffs getroffen werden, die Penetrationstiefe wird mit dieser Methode jedoch nicht ermittelt. Längsschnitte bzw. Längsspaltungen der Zahnwurzeln haben den Nachteil, dass die Penetrationstiefe nur entlang des Bruchspaltes beurteilt werden kann oder der Sägeblattverlust so hoch ist, dass die Farbpenetration nur selektiv sichtbar wird. Mit dem in dieser Studie zur Anwendung gekommenen Verfahren

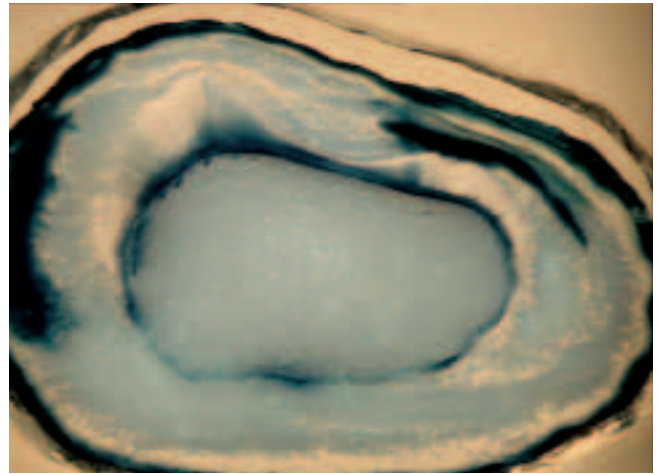


Abb. 6 Der Querschnitt durch eine retrograde Füllung aus Ketac-Fil® zeigt eine fast durchgehend verlaufende zirkuläre Farbpenetration (Schnitthöhe 1,1 mm vor dem Apex)

der seriellen Querschnitte wurde eine Methode gewählt, mit deren Hilfe eine Aussage zur Dichtigkeit der untersuchten Wurzelfüllungen durch die Messung der Penetrationstiefe ermöglicht wird. Da diese Methode häufig zum Einsatz kommt, erlaubt sie einen Vergleich mit den Werten anderer Studien. Allerdings kommt es ebenfalls zu Sägeblattverlusten, sodass die maximale Penetrationstiefe in einigen Fällen nicht exakt bestimmt werden kann.

Methylblau wurde als Farbstoff gewählt, da es einerseits unempfindlich gegenüber chemischen Veränderungen ist und andererseits auf Grund seines niederen Molekulargewichts besser penetriert als andere Farbstoffe, beispielsweise Tinte (TAMSE et al. 1998). Nachteilig auf die Untersuchungsergebnisse können sich eingeschlossene Luftbläschen auswirken (GOLDMAN et al. 1989), die jedoch in der vorliegenden Studie in keinem Fall nachgewiesen werden konnten. Prinzipiell muss die Übertragbarkeit von Farbstoffpenetrationstests auf die klinische Situation allerdings kritisch betrachtet werden. Eine Korrelation zwischen der Quantifizierung der Farbstoffpenetration und der klinischen Dichtigkeit von Wurzelfüllungen ist nämlich umstritten. Ein Grund hierfür ist in erster Linie der Unterschied zwischen den Molekülgrößen von Bakterien und ihren Endotoxinen sowie den eingesetzten Farbstoffen. BARTHEL et al. (1999) konnten eindrucksvoll nachweisen, dass Farbstoffpenetration und Bakterienpenetration nur in wenigen Fällen in Zusammenhang zu bringen waren. Da jedoch Nährstoffe von Bakterien ähnliche Molekülgrößen wie die eingesetzten Farbstoffe aufweisen, sollte eine Wurzelfüllung auch ihnen gegenüber dicht sein. In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit von TANG et al. (2002) wurde Endotoxin erfolgreich eingesetzt, um die apikale Dichtigkeit verschiedener retrograder Füllungsmaterialien zu testen. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Studiendesign eine hohe Zuverlässigkeit in Bezug auf negative und positive Kontrollgruppen gewährleistetete. Da die Dichtigkeit gegenüber Endotoxinen für retrograde Füllungen von besonderer Bedeutung ist und Dichtigkeitsuntersuchungen mit Farbstoffen nur eine beschränkte Übertragbarkeit auf die klinische Situation aufweisen, ist zu erwägen, in zukünftigen Dichtigkeitsuntersuchungen Endotoxine bzw. Farbstoffe mit ähnlichen Molekülgrößen einzusetzen.

Auf eine zusätzliche positive Kontrollgruppe ohne Wurzelfüllung und Wurzelspitzenresektion wurde verzichtet, da eine

solche Kontrollgruppe zwar einen Aufschluss über die Zuverlässigkeit der gewählten Methode zur Ermittlung der apikalen Penetrationstiefen geben könnte, jedoch kein klinisches Verfahren repräsentiert. Zudem war die Überprüfung der zum Einsatz gekommenen Untersuchungsmethoden nicht der Gegenstand der vorliegenden Studie und wurde bereits von anderen Autoren untersucht (GOLDMAN et al. 1989).

Mit 3,26 mm lag die in der Gruppe I ermittelte durchschnittliche Penetrationstiefe in einem ähnlichen Bereich wie von GASPARINI (1994) angegeben. Diese Studie fand bei Zähnen, die mit Hilfe der lateralen Kondensation gefüllt wurden, eine durchschnittliche Farbpenetration von 3,3 mm. TAMSE et al. (1998) kamen auf eine mittlere Penetrationstiefe von 2,9 mm. GENCOGLU et al. (2002) dagegen beobachteten bei gleicher Füllungsmethode eine mittlere Penetrationstiefe von 7,6 mm. Die in der vorliegenden Studie gemessenen Werte in der Kontrollgruppe korrelieren also durchaus mit den in der in der Literatur beschriebenen. In der Gruppe II (wurzelspitzenresezierte Zähne) kam es im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen zu den deutlich besten Ergebnissen hinsichtlich der Farbstoffpenetration. Der mittlere Wert lag mit 1,4 mm signifikant niedriger als die Mittelwerte der Gruppen I und III. Studien mit einem ähnlichen Design, die einen Vergleich mit den vorliegenden Daten dieser Gruppe ermöglichen, konnten in der zugänglichen Literatur nicht gefunden werden.

Die im Vergleich zur Gruppe der wurzelspitzenresezierten Zähne schlechteren Ergebnisse für die Gruppe I könnten zum Teil darauf zurückzuführen sein, dass schlitzförmige Kanalanteile im apikalen Bereich unvollständiger aufbereitet wurden, als im koronalen Abschnitt, und entsprechend ungefüllt blieben. Solche schlitzförmigen Ausbuchtungen konnten bei Betrachtung der Querschnitte beobachtet werden (Abb. 4). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen, wonach sich lateral kondensierte Wurzelfüllungen mangelhaft an den Kanalverlauf anpassen (BRAYTON et al. 1973). Kanalausbuchtungen scheinen bei oberen Prämolaren, vermutlich entwicklungsbedingt, in hohem Masse vorhanden zu sein. Daneben konnten bei einigen Zähnen ungefüllte interkanalikuläre Räume beobachtet werden (Abb. 5). Überschüssiger Sealer, der bei der lateralen Kondensation koronal entweicht, könnte möglicherweise das Einbringen der akzessorischen Stifte erschwert haben, sodass sich der Anteil des Sealers im Verhältnis zur Guttapercha in den apikalen Abschnitten erhöhen würde. Allerdings muss bei einem Vergleich der Kontrollgruppe mit den wurzelspitzenresezierten Zähnen berücksichtigt werden, dass von Letzteren bereits 3 mm der Wurzel entfernt wurden. So könnte man konstatieren, dass eine mittlere Eindringtiefe von 1,4 mm in der Gruppe II eher einer tatsächlichen Penetrationstiefe von 4,4 mm entspricht. Hinzu kommt, dass die Eindringtiefe in allen Gruppen von apikal gemessen wurde, die Wurzelfüllungen in Gruppe I jedoch 1 mm vor dem Apex endeten. Demnach müsste man von den durchschnittlich gemessenen 3,26 mm 1 mm abziehen, um die Farbpenetration entlang der Wurzelfüllung zu messen. So gesehen wären die Ergebnisse in jedem Fall in der Kontrollgruppe am günstigsten.

Die in Gruppe III vorgefundene, mittlere Penetrationstiefe lag bei 4,3 mm und damit signifikant höher als in den beiden anderen Gruppen. Vergleichbare Untersuchungen differieren in ihrem Aufbau zum Teil erheblich. So fanden SUTIMUNTANAKUL et al. (2000) eine mittlere Farbstoffpenetration von 0,5 mm. ROSALES et al. (1996) konnten Penetrationstiefen von 1,3 mm (Ketac-Bond®; ESPE Dental AG; Seefeld, Deutschland) bzw. 2,4 mm (Ketac-Silver®; ESPE Dental AG; Seefeld, Deutschland) messen. CHONG et al. (1991) beobachteten in 9 von 20 Fällen Undichtig-

keiten am Füllungsrand sowie Lufteinschlüsse im Glasionomerzement. Solche Lufteinschlüsse sind vermutlich auf die zähfließende Konsistenz des Glasionomerzementes zurückzuführen und konnten in der vorliegenden Studie ebenfalls nachgewiesen werden. Trotz der erschwerten Vergleichbarkeit, die auf das unterschiedliche Studiendesign zurückzuführen ist, kann festgestellt werden, dass die in der vorliegenden Untersuchung gemessene durchschnittliche Farbstoffpenetration für die retrograd gefüllten Zähne erheblich höher lag als in der Literatur beschrieben. Diese Differenzen sind mit Sicherheit zu einem Teil auf Materialunterschiede und die unterschiedliche Art der Applikation des Glasionomerzements zurückzuführen. Sowohl SUTIMUNTANAKUL et al. (2000) als auch ROSALES et al. (1996) konditionierten das Dentin vor dem Legen der Füllungen, Letztere versiegelten die Füllungen noch zusätzlich mit einem lighthärtenden Lack. Es konnte gezeigt werden, dass sich eine zusätzliche Konditionierung des Dentins positiv auf die Dichtigkeit von Glasionomerfüllungen auswirkt. Die erheblichen Abweichungen von den in der Literatur beschriebenen Werten können jedoch damit allein nicht erklärt werden. An fast allen retrograden Füllungen konnte in dieser Studie eine zirkuläre Farbstoffpenetration beobachtet werden (Abb. 6); interne Risse kamen jedoch nur vereinzelt vor. Anzunehmen ist, dass unter klinischen Bedingungen gelegte retrograde Füllungen aus Glasionomerzement eher noch grössere Undichtigkeiten aufweisen, da die dort vorhandene Feuchtigkeit und eventuelle Einblutungen die Abbindung negativ beeinflussen und die Adhäsion am Dentin zusätzlich mindern. Trotz der günstigeren Ergebnisse für Glasionomerzemente in den erwähnten Studien kann festgestellt werden, dass dieser Werkstoff keine optimalen Eigenschaften hinsichtlich des Abdichtungsvermögens besitzt. So zeigte in der bereits erwähnten Untersuchung von SUTIMUNTANAKUL et al. (2002) Super-EBA-Zement eine höhere Dichtigkeit gegenüber Methylenblau als Glasionomerzement. In jüngerer Zeit wurde zudem die Verwendung von IRM und MTA beschrieben, von denen Letzterem eine sehr gute Dichtigkeit gegenüber Endotoxinen bescheinigt wird (TANG et al. 2002). Diesen Werkstoffen wird darüber hinaus ein regenerierender Effekt auf periapikales Entzündungsgewebe zugeschrieben (TANG et al. 2002).

An Zähnen mit Seitenkanälen (Abb. 3) war die durchschnittliche Penetrationstiefe im Mittel höher als an Zähnen, an denen keine Seitenkanäle nachzuweisen waren. Dies galt sowohl für die Zähne der Gruppe I, in der sich sechs Zähne mit lateralen Kanälen befanden, als auch für die Gruppe III mit drei Fällen von lateralen Kanälen. Die eingesetzte Methode zur Ermittlung der Farbpenetration ist auf Grund des hohen Sägeblattverlustes jedoch nur bedingt zum Auffinden vorhandener Seitenkanäle geeignet. Daher ist davon auszugehen, dass ein grosser Teil der Seitenkanäle bei der Betrachtung der Sägeschnitte unentdeckt blieb. Das Vorhandensein lateraler Kanäle stellt im Hinblick auf das Verbleiben von Bakterien klinisch ein grosses Problem dar. Durch eine Wurzelspitzenresektion können zwar apikale Kanalausbuchtungen und Ramifikationen beseitigt werden, vorhandene weiter koronal gelegene laterale Kanäle werden durch dieses Verfahren nicht erreicht.

Schlussfolgerungen

Da die Dichtigkeit gegenüber Methylenblau in der Gruppe der wurzelspitzenresezierten Zähne am grössten war, sollte der Einsatz von Glasionomerzement als retrogrades Füllmaterial kritisch überdacht werden. Dies gilt zumindest für Ketac-Fil®, vor allem im Hinblick darauf, dass die Applikation unter klinischen Bedin-

gungen durch Feuchtigkeitszutritt zusätzlich erschwert und eine Verarbeitung lege artis kaum möglich ist. Unter diesen Umständen wird durch eine retrograde Wurzelfüllung das Ziel eines apikalen bakteriendichten Verschlusses nicht erreicht.

Die Übertragbarkeit von Farbstoffpenetrationstests ist umstritten. Aus diesen Überlegungen heraus kann, bei Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse, einer Wurzelspitzenresektion nicht der Vorzug vor einer Revision gegeben werden. Daher sollte der Forderung, in allen Fällen, sofern möglich, eine Revision der Wurzelfüllung einer chirurgisch-endodontischen Massnahme vorzuziehen, Folge geleistet werden.

Summary

REISTER J P, STARIBRATOVA-REISTER K, KIELBASSA A M: **Apical leakage of root canal fillings in maxillary premolars. A comparison between orthograde filled, apicectomized and retrogradely filled teeth** (in German) Schweiz Monatschrift Zahnmed 112: 998–1005 (2002)

The objective of this study was to compare the apical leakage in root canal filled, apicectomized and retrogradely filled maxillary single rooted premolars with two canals of type II configuration. For this purpose the root canals of 51 maxillary type II premolars were shaped to size ISO #55, followed by a step-back preparation to size ISO #80. Subsequently, all teeth were obturated by means of lateral condensation and randomly divided into three groups, 17 teeth each. Group I was used as a control, whereas in group II and III an apicoectomy was performed. Retrograde glass ionomer restorations (Ketac Fil®) were placed additionally in group III. The specimens were exposed to methylen blue for 24 hours, then cross-sectioned, and the deepness of dye penetration was measured. Data were analyzed and tested for significant differences between the various groups (Mann-Whitney test; $\alpha=0.05$). The teeth in group II showed the lowest mean dye penetration. The differences were statistically significant, if compared to group I ($p<0.001$) and group III ($p<0.001$). The dye penetration in group I was significantly lower than in group III ($p=0.024$). In teeth with lateral canals, the mean dye penetration was higher ($3,557 \mu\text{m} \pm 1,337 \mu\text{m}$) than in teeth without lateral canals ($3,096 \mu\text{m} \pm 1,931 \mu\text{m}$). The teeth in group III showed a circular dye penetration in nearly all cases. For clinical purposes, the application of retrograde glass ionomer fillings must be considered very critically.

Résumé

Cette étude in vitro visait à comparer l'étanchéité apicale des prémolaires supérieures avec configuration du type II après l'obturation canalair par condensation latérale. Les canaux radiculaires de 51 prémolaires supérieures (avec une racine) ont été élargis apicalement jusqu'au diamètre ISO # 55. Après répartition aléatoire en trois groupes de 17 dents, ces dernières ont été obturées par condensation latérale. Le premier groupe resta sans autres traitements (contrôle), les dents du groupe II furent traitées par résection apicale, le troisième groupe reçut une résection apicale avec obturation radiculaire rétrograde par verre ionomère (Ketac Fil®). Puis les dents ont été immergées pendant 24 heures dans le colorant bleu de méthylène. Les raines furent coupées perpendiculairement avant la mesure de la profondeur maximale de la pénétration du colorant. L'usage approprié de la résection apicale (groupe II) a donné une étanchéité statistiquement plus satisfaisante par rapport aux groupes I ($p<0,001$; Mann-Whitney) ou III ($p<0,001$). Une différence significative fut mise en évi-

dence entre les groupes I et III ($p=0,024$). Les dents aux canaux latéraux ont montré une pénétration du colorant plus élevée ($3,557 \mu\text{m} \pm 1,337 \mu\text{m}$) par rapport à celles sans canaux latéraux ($3,096 \mu\text{m} \pm 1,931 \mu\text{m}$). Les dents du groupe III ont montré une pénétration circulaire du colorant dans presque tous les cas. La résection apicale des prémolaires supérieures avec obturation radiculaire rétrograde par verre ionomère doit être considérée, du point de vue clinique, comme très critique.

Verdankung

Unser Dank gilt Herrn Professor Dr. T. ATTIN, der diese Untersuchung initiierte und in der Anfangsphase stets konstruktiv begleitete.

Literaturverzeichnis

- ALLISON D A, WEBBER C R, WALTON R E: The influence of the method of canal preparation on the quality of apical and coronal obturation. *J Endod* 5: 298–304 (1979)
- BARTHEL C R, MOSHONOV J, SHUPING G, ORSTAVIK D: Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals. *Int Endod J* 32: 370–375 (1999)
- BEATTY R G, ZAKARIASEN K L: Apikal leakage associated with three obturation techniques in large and small canals. *Int Endod J* 17: 67–72 (1984)
- BERGENHOLTZ G, LEKHOLM U, MILTHON R, HEDEN G, ÖDESJÖ B, ENGSTRÖM B: Retreatment of endodontic fillings. *J Dent Res* 87: 217–224 (1979)
- BRAYTON S M, DAVIS S R, GOLDMAN M: Gutta-percha root canal fillings. An in vitro analysis. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 35: 226–231 (1973)
- CHONG B S, PITT FORD T R, WATSON T F: The adaptation and sealing ability of light-cured glass ionomer retrograde root fillings. *Int Endod J* 24: 223–232 (1991)
- GENCOGLU N, GARIP Y, BAS M, SAMANI S: Comparison of different gutta percha root filling techniques: ThermoFil, Quick-Fil, System B and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 93: 333–336 (2002)
- GASPARINI C: Dichtigkeitsprüfungen thermoplastischer Wurzelfüllungen in geraden und gekrümmten Kanälen bei Zähnen mit weitem apikalem Foramen in vitro. *Zahnmed Diss*, Berlin 1994.
- GETTLEMAN B H, MESSER H, ELDEEB M: Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 17: 15–20 (1991)
- GOLDMAN M, SIMMONDS S, RUSH R: The usefulness of dye-penetration studies reexamined. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 67: 327–332 (1989)
- GREEN D, BROOKLYN NY: Double canals in single roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 35: 689–696 (1973)
- GULDENER P H A: Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals. In: Guldener P H A (Ed) *Endodontologie*. Thieme, Stuttgart, pp 200–244 (1987)
- GULDENER P H A: Wurzelspitzenresektion. Retrograde Kavitätenpräparation und retrograde Wurzelfüllmaterialien. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 104: 183–189 (1994)
- HARVEY T, WHITE J, LEEB I: Lateral condensation stress in root canals. *J Endod* 7: 151–155 (1981)
- HESS W: Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apikale. *Schweiz Vierteljahrsschr Zahnheilk* 27: 1–34 (1917)

- HÜLSMANN M: Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter und vergleichende In-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. *Habil.-Schr. Quintessenz, Göttingen*, pp 19–27 (2000)
- KARTAL N, ÖZCELİK B, CIMILLI H: Root canal morphology of maxillary premolars. *J Endod* 24: 417–419 (1998)
- LA COMBE J S, CAMPBELL A D, HICHS M L, PELLEN B: A comparison of the apical seal produced by two thermoplasticized injectable gutta-percha techniques. *J Endod* 14: 445–450 (1988)
- NAIR P N, SJÖGREN U, KREY G, KAHNBERG K-E, SUNDQVIST G.: Intradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: A long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endod* 16: 580–588 (1990)
- PLATZER U, SEDELMAYER J: Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung: Neue Instrumente – neue Techniken? In: Hahn W H (Eds): *Endodontie*. Carl Hanser Verlag, München, pp 96–105 (1993)
- ROBERTSON D C, LEEB J J: A clearing technique for the study of root canal system. *J Endod* 6: 421–424 (1980)
- ROSALES J I, VALLECILLO M, OSORIO R, BRAVO M, TOLEDANO M: An in vitro comparison of micro leakage in three glass ionomer cements used as retrograde filling materials. *Int Dent J* 46: 15–21 (1996)
- RUD J, ANDREASEN J O, MÖLLER-JENSEN J E: A follow-up study of 1000 cases treated by endodontic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1, 215–224 (1972)
- SUTIMUNTANAKUL S, WORAYOSKOWIT W, MANGKORNKARN C: Retrograde seal in ultrasonically prepared canals. *J Endod* 26: 444–446 (2000)
- TAMSE A, KATZ A, FABLAN F: Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J* 31: 333–337 (1998)
- TANG H M, TORABINEJAD M, KETTERING J D: Leakage evaluation of root end filling materials using endotoxins. *J Endod* 28: 5–7 (2002)
- VERTUCCI F, GEGAUFF A: Root canal morphology of the maxillary first premolar. *J Am Dent Assoc* 99: 194–198 (1979)
- VERTUCCI F, SEELIG A, GILLIS R: Root canal morphology of the human maxillary second premolar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 38: 456–464 (1974)
- WU M K, WESSELINK, P R: Endodontic leakage reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *J Endod* 26: 37–43 (1993)
- ZETTERQVIST L, HALL G, HOLMLUND A: Apicectomy: a comparative clinical study of amalgam and glass ionomer cement as apical sealants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 71: 489–491 (1991)