

C. Zirkel¹

Moderne Endodontie – ein antimikrobielles Konzept

Modern endodontics – an antibacterial treatment concept



C. Zirkel

Einleitung: Wie in anderen Bereichen der Zahnheilkunde stellen auch in der Endodontie Bakterien die Hauptursache für pathologische Veränderungen dar.

Material und Methode: Dieser Artikel soll den Stellenwert eines streng antibakteriellen Behandlungskonzeptes einordnen und verdeutlichen, welche Erfolgsquoten erzielt werden können und dies weitestgehend unabhängig von den verwendeten Aufbereitungs- oder Wurzelfüllungssystemen.

Ergebnisse und Schlussfolgerung: Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass während der gesamten endodontischen Therapie der Fokus auf der Bakterienreduktion, sowie auf der Vermeidung einer Rekontamination liegen muss. Diese Betrachtungsweise ist der Schlüssel zum endodontischen Erfolg.

(Dtsch Zahnärztl Z 2011, 66: 185–195)

Schlüsselwörter: Bakterien, NaOCl, CHX, Patency, Endometrie

Introduction: In endodontology – as in all other fields of dentistry – bacteria are the main reason for pathological alterations.

Material and Method: This article will show the significance of antibacterial treatments and its success rate apart from the used preparation- and root canal filling systems.

Results and Conclusion: Taken together, during each endodontic therapy the main focus should be the reduction of bacteria as well as the prevention of a recontamination. Following these rules will result in a successful endodontic treatment.

Keywords: bacteria, sodiumhypochlorite, chlorhexidine, patency, length determination

¹ Dres. Hartmann, Zirkel und Kollegen, Gyrhofstraße 24, 50931 Köln

Peer-reviewed article: eingereicht: 02.02.2011, akzeptiert: 17.02.2011

DOI 10.3238/dzz.2011.0185

Die Rolle der Bakterien

Eine Infektion des Pulpagewebes durch Mikroorganismen, welche größtenteils reguläre Bewohner der Mundhöhle sind, stellt den entscheidenden ätiologischen Faktor in der Pathogenese der apikalen Parodontitis dar. Dies wurde bereits 1965 von *Kakehasi* et al. eindrucksvoll bewiesen. Dabei wurden gesunde Ratten in zwei Gruppen eingeteilt und die Pulpa an mehreren Zähnen artifiziell eröffnet. Keimfrei gehaltene Ratten entwickelten keinerlei Symptome einer apikalen Parodontitis, es kam sogar zur Bildung von neuem Hartgewebe. Ratten mit physiologischem oralem Milieu entwickelten im Vergleichszeitraum jedoch schwere Parodontitiden [22]. Studien von *Sundqvist* [46] und *Moller* et al. [28] kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Somit ist eindeutig belegt, dass Bakterien zu pathologischen Veränderungen führen. Aufgrund dessen muss unser Augenmerk auch auf die Bakterienreduktion gerichtet sein und nicht nur auf eine schöne Wurzelkanalfüllung im Abschlussröntgenbild.

Bei unseren Patienten stellt die kariöse Läsion den Hauptinfektionsweg für Mikroorganismen dar. Aber auch dentale Traumen, Erosionen, Mikrorisse oder iatrogene Pulpaschädigung [25] können zur Infektion der Pulpa durch Mikroorganismen der Mundhöhle führen. Hierbei sind primäre Infektionen durch eine gemischte Bakterienflora, die sich durchschnittlich aus 10 bis 30 Spezies pro Wurzelkanal zusammensetzt, gekennzeichnet [37]. Im infizierten unbehandelten Kanal befindet sich dabei eine Mischung aus gram-positiven und gram-negativen Spezies, die von obligat anaeroben Bakterien dominiert werden [16]. In einer Studie zur Quantifizierung der bakteriellen Kontamination infizierter Kanäle konnte nachgewiesen werden, dass sich in Kanälen mit primären Infektionen signifikant mehr Mikroorganismen ($4,6 \times 10^7$) befinden als in Kanälen mit persistierenden endodontischen Läsionen ($2,1 \times 10^6$) [5]. Dabei liegen die Bakterien einerseits in planktonischer (frei in einer Flüssigkeit) Form innerhalb der Gewebsflüssigkeit des Kanals vor [31], andererseits innerhalb eines Biofilms. Dabei handelt es sich um Konglomerate unterschiedlicher Bakterienspezies eingebettet in eine extrazelluläre Polysaccharidmatrix [13]. In Bio-

film eingebettete Mikroorganismen sind dabei bis zu 1.000fach resistenter gegenüber antimikrobiellen Agentien [49].

Persistierende endodontische Läsionen sind ebenfalls durch das Vorhandensein von Bakterien gekennzeichnet. Hierbei sind die prädominanten Spezies vor allem fakultativ anaerobe Bakterien. *Hülsmann* et al. konnten mit neuesten molekularbiologischen Nachweismethoden zeigen, dass auch persistierende Infektionen durch eine bakterielle Mischflora gekennzeichnet sind [34], wobei hier gram-positive Spezies überwiegen.

Bakterien sind dabei in allen Bereichen des Wurzelkanalsystems einschließlich Lakunen, Anastomosen und Seitenkanälen präsent. Die Mikroorganismen können dabei bis zu 300 µm tief in Dentintubuli eindringen [38].

Love et al. stellten dabei innerhalb des Wurzelkanals eine unterschiedliche Verteilung der bakteriellen Kontamination fest. So war das zervikale Wurzelkanaldrittel quantitativ stärker bakteriell infiziert und die Eindringtiefe der Mikroorganismen in Dentintubuli war größer (200 µm) als im mittleren Wurzelkanaldrittel. Das mittlere Wurzelkanaldrittel war wiederum stärker infiziert und die Eindringtiefe der Bakterien in Dentintubuli war tiefer als im apikalen Drittel (60 µm) des Wurzelkanals [26].

Weil das primäre ätiologische Problem die bakterielle Infektion ist, muss der Grundgedanke der endodontischen Therapie eine möglichst vollständige Eliminierung der bakteriellen Mikroflora im Wurzelkanalsystem, die vollständige Obturation der entstandenen Hohlräume sowie die Verhinderung einer Reinfektion sein [45].

Da ein infiziertes Wurzelkanalsystem jedoch, aufgrund der komplexen anatomischen Strukturen, nur selten vollständig von Bakterien und Biofilm zu befreien ist, ist es das Ziel, die Anzahl der Bakterien unter die Schwelle zu reduzieren, die vom jeweiligen Organismus toleriert wird. Da diese Schwelle bei jedem Patienten unterschiedlich ist, kommt es in Fällen bei denen die Toleranzgrenze sehr niedrig ist, nicht zu einem klinischen Erfolg (Abb. 1)

Daraus ergibt sich die Forderung nach Einhaltung eines strikten antimikrobiellen Konzepts während der gesamten endodontischen Therapie: Grundpfeiler dieses Konzeptes ist die

chemomechanische Reinigung des gesamten Wurzelkanalsystems, eine möglichst vollständige Obturation der entstandenen Hohlräume sowie eine dauerhaft bakteriendichte Restauration.

Kofferdam und präendodontischer Aufbau

In einem antimikrobiellen Konzept kommt dem Kofferdam eine ganz entscheidende Rolle zu. Nur mit Hilfe des Kofferdams ist die Schaffung eines sterilen von den Keimen der Mundhöhle isolierten Operationsfeldes möglich. Wenn es auch sehr schwierig ist, evidenzbasierte Beweise für den unbedingten Gebrauch von Kofferdam zu finden, ergeben sich seine Vorteile aus einigen wenigen Überlegungen. Wie bereits oben erwähnt, ist die Schaffung eines sterilen bzw. zumindest stark keimreduzierten Arbeitsfeldes ohne die Verwendung eines Kofferdams unmöglich. Daneben stellt der Schutz des Patienten vor Aspiration von Instrumenten, Spüllösungen und Medikamenten ein weiteres wichtiges Argument dar. Ein übersichtliches Arbeitsfeld (gerade bei Gebrauch eines OP-Mikroskops), bessere Ausleuchtung des Arbeitsfeldes und ungestörtes Arbeiten sind weitere Argumente für den Gebrauch des Kofferdams. So empfiehlt die Europäische Gesellschaft für Endodontie in Ihren Qualitätsrichtlinien den Gebrauch des Kofferdams bei jeder Wurzelbehandlung.

Wann immer möglich sollte der Kofferdam zu Beginn der endodontischen Behandlung gelegt werden. Dies ist aber bei stark reduzierter Zahnhartsubstanz erschwert oder gar nicht möglich. In diesen Fällen muss vor Beginn der Behandlung ein präendodontischer adhäsiver Aufbau angefertigt werden. Hierbei gilt zu beachten, dass zunächst das gesamte kariöse Dentin, evtl. mittels Kariesdetektor im koronalen Anteil entfernt werden muss. Im manchen Fällen sollte über eine chirurgische Kronenverlängerung vor dem Aufbau nachgedacht werden. Ein dentinadhäsiver Aufbau eröffnet nun die Möglichkeit sowohl Pulpakammer und Wurzelkanalsystem mit Spülflüssigkeit zu fluten, als auch die Sicherheit eines bakteriendichten Verschlusses zwischen den einzelnen Behandlungssitzungen. Eventuell vorhandene

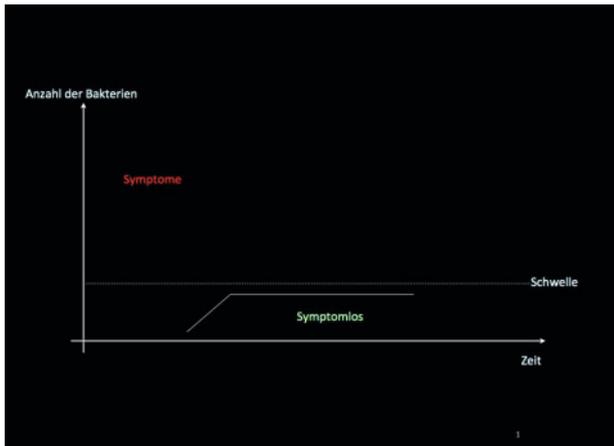


Abbildung 1a Anzahl der Bakterien erreicht die Schwelle nicht. Keine klinische Symptomatik.

Figure 1a Number of bacteria without reaching the barrier. No clinical symptoms.

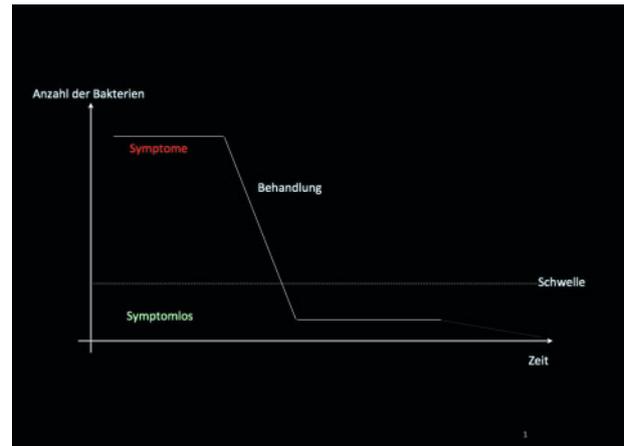


Abbildung 1b Eine klinische Symptomatik liegt vor. Aufgrund der endodontischen Therapie wird die Anzahl der Bakterien jedoch langfristig unterhalb der Schwelle gehalten, mit der Option, dass im Laufe der Zeit alle Mikroorganismen zugrunde gehen.

Figure 1b Clinical symptoms exist. Due to endodontic therapy the number of bacteria was decreased below the barrier. This should cause the destruction of all microorganisms.

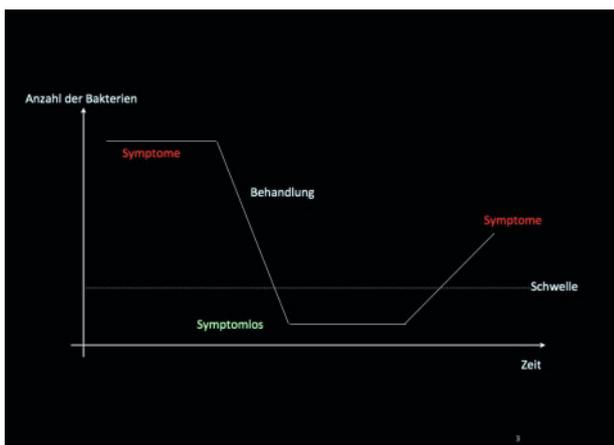


Abbildung 1c Die primäre Therapie ist erfolgreich, jedoch kommt es im Laufe der Zeit zu einer Reinfektion und somit zu einer erneuten Symptomatik.

Figure 1c Although the first therapy was successful a re-infection occurred causing new pathologic effects.

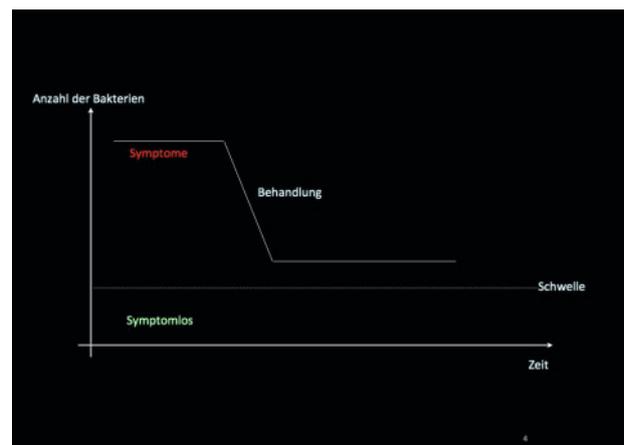


Abbildung 1d Die endodontische Therapie ist nicht erfolgreich, da zu keinem Zeitpunkt die Anzahl der Bakterien unter die Schwelle reduziert werden konnte.

Figure 1d The endodontic therapy is not successful because the number of bacteria could never be decreased below the barrier.

(Abb. 1a–d: angelehnt an Siqueira et al. [36])

Restaurationen können nur dann aus Gründen des Patientenkomforts für die Dauer der Behandlung belassen werden, wenn eine vollständige Kariesentfernung und Abdichtung der Restauration möglich ist, oder kein infiziertes Dentin bzw. keine Undichtigkeit vorliegt. Diese vollständige koronale Elimination von bakteriell kontaminierter Zahnhartsubstanz ist dabei bereits ein essentieller Bestandteil des von koronal nach apikal gerichteten Reinigungskonzepts (Abb. 2).

Die chemomechanische Aufbereitung – von koronal nach apikal: Grundlegende Überlegungen

Es gilt heute als gesichert, dass die Aufbereitung mit Handinstrumenten sowie rotierenden NITI-Instrumenten auch ohne desinfizierende Spüllösungen die Anzahl von Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem signifikant reduziert [8]. Jedoch erst in Kombination mit Spülflüssigkeiten wie Natriumhypochlorit

(NaOCl) etc. kann die bakterielle Kontamination des Wurzelkanalsystems drastisch (um das 100– bis 1.000fache) reduziert werden [43].

Auch wenn Ni-Ti Systeme viele Vorteile bieten und aus der modernen Endodontie nicht wegzudenken sind, konnten Peters et al. doch zeigen, dass die mechanische Aufbereitung mit Hilfe von NITI-Instrumenten und Handinstrumenten nur ca. 61 % der Wurzelkanaloberflächen reinigen konnte [32]. Erst die chemische Reinigung mit Hilfe

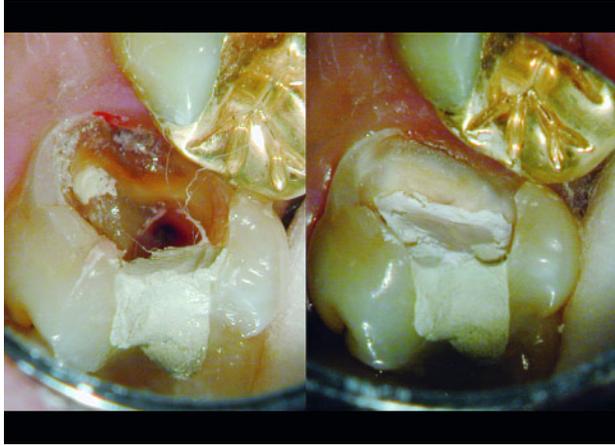


Abbildung 2a Kariesexkavation an einem Oberkiefer-Molaren.
Figure 2a Excavation of caries on an upper molar.

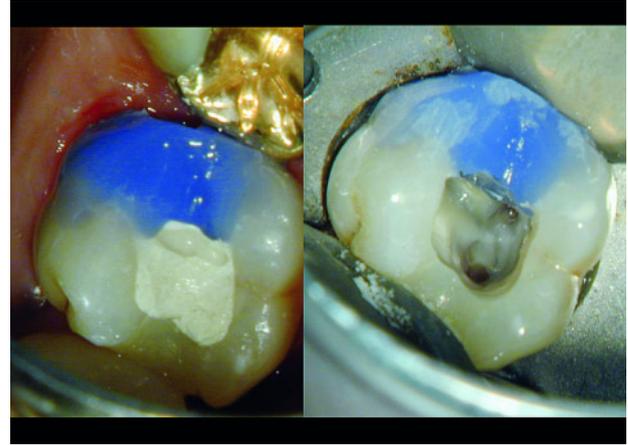


Abbildung 2b Farbiger präendodontischer Aufbau nach vollständiger Kariesexkavation.
Figure 2b Coloured pre endodontic build-up after excavation of caries.

von Spüllösungen führt zu einer effektiven Bakterienreduktion, wenn auch eine vollständige Elimination der Mikroorganismen mit heutigen Methoden nicht zu erreichen ist [30]. *Gulabivala* et al. postulierten daher, dass sich das primäre Ziel der mechanischen Aufbereitung mehr von der Entfernung infizierter Hartschubstanz zur Schaffung eines suffizienten Zuganges für Spüllösungen und Obturationsmaterialien in komplexen Kanal anatomien verschoben hat [18]. Dies darf jedoch nicht dazu führen, dass stark infiziertes Dentin im Wurzelkanalsystem belassen wird, vor allem nicht in den koronalen Kanalanteilen. Denn *Love* et al. konnten zeigen, dass im infizierten Kanal die Zahl an Mikroorganismen im koronalen Drittel am größten ist.

Ein besonders gutes Beispiel für dieses Problem stellen Oberkiefer-Frontzähne dar. Sie gehören mit zu den am häufigsten resizierten Zähnen und dies nicht nur weil der apikale Anteil der Wurzelspitze starke Krümmungen aufweisen kann, sondern vermutlich meist, weil in dem koronalen Wurzelkanalanteil noch zu viel infiziertes Dentin belassen wurde. Selbst wenn der Kanal eines Oberkiefer-Frontzahnes mit einem ISO-60 Handinstrument bearbeitet wurde, hat dieses den koronalen Kanalanteil meist kaum bearbeitet (z. B. Oberkiefer-Frontzahn mit anatomisch weitlumigem Kanal) (Abb. 3).

Das Ziel der Aufbereitung ist es also nicht, schnellstmöglich die Instrumen-

tenspitze in die apikale Region zu bringen! Und wenn es zu Problemen kommt (keine Schmerzfremheit oder persistierende apikale Parodontitiden), ist die Lösung nicht immer eine Erweiterung der apikalen Region. Zu häufig beobachtet man dies bei Revisionen eines nicht suffizient gereinigten koronalen Kanalabschnitts. Bakterien aus dieser Region tragen dann zu einer erneuten Infektion des gesamten Wurzelkanalsystems bei. Dementsprechend führen Wurzelspitzenresektionen an diesen Zähnen nicht zum Erfolg, da das Problem nicht kausal mit der Wurzelspitze im Zusammenhang steht (Abb. 4).

Die mechanische Aufbereitung

Bevor über eine mechanische Bearbeitung des Kanalsystems nachgedacht werden kann, ist die Darstellung aller Kanaleingänge zwingend erforderlich. Die schönste Wurzelkanalaufbereitung und Füllung verbessert die Erfolgsquote nicht, wenn Kanalsysteme übersehen wurden und damit gar nicht gereinigt wurden.

Unter zu Hilfenahme einer optischen Vergrößerung (Lupenbrille mit Licht, Mikroskop), ist eine Orientierung auf dem Pulpakammerboden gut geeignet, um alle Eingänge zu den Kanalsystemen zu finden (Abb. 5).

Nachgewiesenermaßen ermöglicht ein koronales „Preflaring“, d. h. eine

weite Öffnung und Schaffung eines geraden Kanalzugangs im koronalen Anteil, eine leichtere Erschließung des gesamten Wurzelkanalsystems, sowie die Möglichkeit, früher größere Mengen an Spüllösung in das Wurzelkanalsystem einzubringen. Daneben wird durch die Begrädigung der koronalen Biegung der Kanäle der initiale Stress auf die Aufbereitungsinstrumente erheblich verringert. Das Preflaring, kann mit Hilfe von „Gates Glidden“ Bohrern oder auch mit speziellen Feilen (je nach System) durchgeführt werden. Darüber hinaus führt diese Methode aber auch zu einem stärkeren mechanischen Substanzabtrag im koronalen Kanal Drittel, welches, wie oben beschrieben, durchaus gewünscht ist. So kann in Kombination mit der chemischen Reinigung bereits in dieser frühen Aufbereitungsphase eine signifikante Bakterienreduktion erreicht werden

Erst danach sollte mit Hilfe moderner endometrischer Messgeräte die exakte Arbeitslänge bestimmt werden, da jetzt Kanalverlauf und somit auch die Länge des Wurzelkanals nicht mehr deutlich geändert wird. Die ermittelte Arbeitslänge sollte auch radiologisch verifiziert werden. Hierbei gilt es zu überlegen, ob die apikale Konstriktion wirklich der richtige Endpunkt der apikalen Aufbereitung sein soll. Die Distanz zwischen dem Foramen major und dem Bereich der apikalen Konstriktion kann durchaus mehrere Millimeter betragen [24]. Dies ist auch von besonderer Bedeutung, weil die apikale Konstriktion

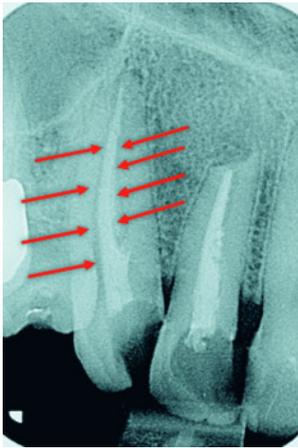


Abbildung 3a Deutlich sind die unterpräparierten Bereiche erkennbar (Pfeile).

Figure 3a Insufficiently prepared areas are clearly visible (arrows).

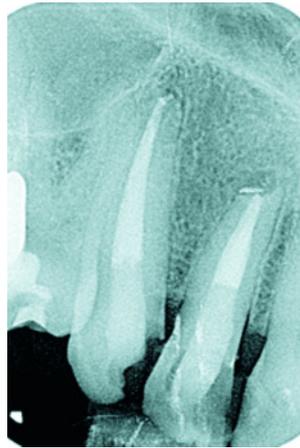


Abbildung 3b Nach der Revision sind die nun gefüllten Kanallumina zu erkennen.

Figure 3b After revision the filled lumina of the canals are visible.

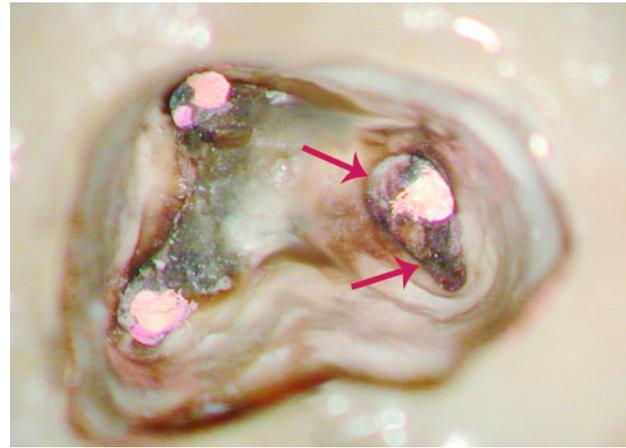


Abbildung 4 Erkennbare Kontamination des koronalen Wurzelkanalsystems bei bestehender Wurzelkanalfüllung.

Figure 4 Contamination of the coronal root canal system associated with an existing root canal filling.

anatomisch nicht als ein eindeutiger Punkt, sondern eher als Strecke zu verstehen ist. Dies kann im Einzelfall bedeuten, dass große Anteile infizierter „Kanalabschnitte“ nicht bearbeitet würden. Aus diesen Überlegungen kann eine alternative Arbeitslängenbestimmung Vorteile bringen. Hierzu muss die Lage des Foramen major bestimmt werden. Dies ist mit den Apexlokatoren meist sicher möglich. Diese Länge wird als „Patency-Länge“ (siehe unten) notiert. Die Arbeitslänge ergibt sich nun aus der gerade beschriebenen Länge minus 1 mm. Somit bleibt maximal 1 mm unbearbeitet [1, 4]. Wichtig ist hierbei, viele Informationen über die Dimension (Weite) des Kanals auf Höhe der Arbeitslänge zu bekommen, um eventuell (mechanisch) eine neue Konstriktion (die engste Stelle) im Kanalsystem zu erzeugen. Dies ist für eine sichere Obturation des Kanalsystems, speziell mit warmen Füllverfahren, unumgänglich (Abb. 6).

Zurzeit kommen verschiedene Aufbereitungstechniken zu Anwendung:

Die Crown-Down-Technik bietet den Vorteil eines von koronal nach apikal gerichteten Vorgehens. Dadurch wird die Gefahr einer Keimverschleppung von koronal nach apikal minimiert. Durch die große koronale Konizität wird ein frühzeitiges effektives Spülen bis in die apikale Region erleichtert. Außerdem unterliegen die Instrumente einem nur partiell auftretenden mecha-

nischen Stress. Erst mit kleineren Feilen-Größen, die auch eine geringere Konizität aufweisen, wird dann der apikale Endpunkt der Aufbereitung erreicht.

Andere NITI Feilen-Systeme kombinieren die Vorteile der Crown-Down-Technik mit denen der Single-Length-Technik (einfachere Handhabung, permanenter Gleitpfad). Bei diesen Feilen-Systemen werden die Instrumente zwar immer auf volle Arbeitslänge eingesetzt, jedoch werden aufgrund des Instrumentendesigns nur definierte Kanalabschnitte – ebenfalls von koronal nach apikal – bearbeitet. Dementsprechend scheint das Risiko einer Transportation von infiziertem Material (Debris) gering zu sein.

Neuste Systeme haben zum Ziel mit möglichst einer Feile das gesamte Kanalsystem zu reinigen. Aufgrund einer reziproken Bewegung ist dies technisch möglich, zusätzlich reduziert diese Bewegung die Gefahr der Instrumentenfraktur deutlich. Studien müssen nun den Stellenwert im täglichen Einsatz, sowie die Vor- und Nachteile genauer untersuchen. Sicher ist aber, dass der reduzierte mechanische Arbeitsaufwand nicht zu einer schlechteren chemischen Reinigung führen darf. Die Gefahr besteht in diesem Fall in einer deutlich verringerten Behandlungszeit und in einer Simplifizierung der Endodontie. Jedoch müssen bestimmte Desinfektionszeiten eingehalten werden (siehe unten) und

man muss sich auch weiterhin Gedanken über die komplexen anatomischen Strukturen im Wurzelkanalsystem machen. Ansonsten kann nicht sicher gestellt werden, dass alle Bereiche gleichermaßen mechanisch und chemisch bearbeitet wurden. Dies ist jedoch der Schlüssel zum Erfolg!

Die apikale Aufbereitung

Wie bereits von Schilder beschrieben sollte der apikale Endpunkt der Aufbereitung so klein wie möglich [35] gehalten werden. Einigkeit herrscht darüber, dass eine apikale Aufbereitung nötig ist, nicht zuletzt, um mit ausreichend Spülflüssigkeit Zugang zum apikalen Bereich zu ermöglichen und die Zahl der Bakterien signifikant zu reduzieren [40]. Die Frage der apikalen Aufbereitungsgröße hingegen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So propagierte Buchanan eine minimale apikale Präparation (20 oder 25) ausgehend von seinen klinischen Erfahrungen. So sollten Aufbereitungsfehler wie apikale Transportation oder Zips vermieden werden [6].

Coldero et al. konnten bei einer In-vitro-Studie keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der apikalen Bakterienreduktion bei kleineren und größeren apikalen Aufbereitungsgrößen feststellen. Betrachtet man jedoch die absoluten Zahlen, waren bei größerer apika-

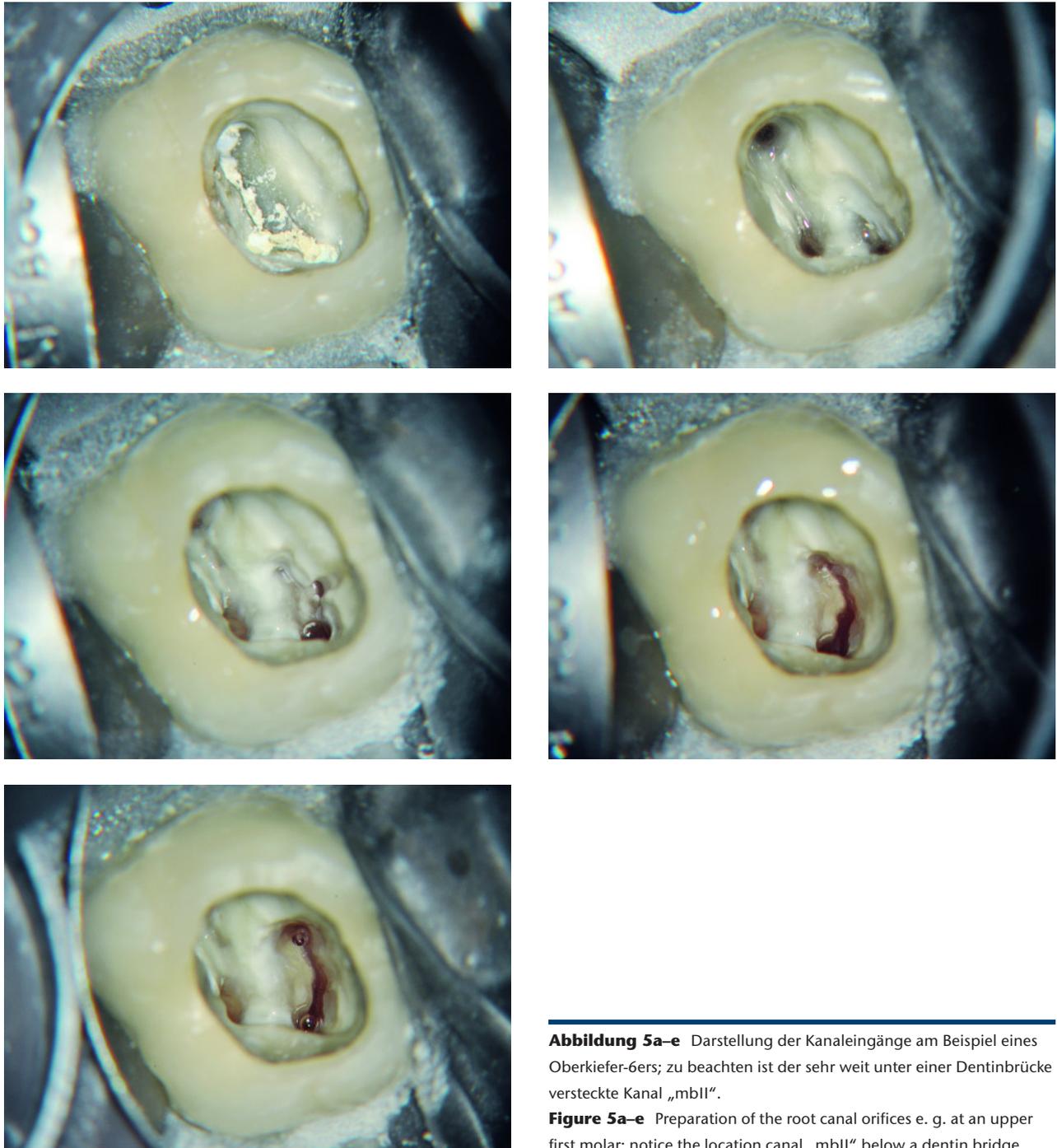


Abbildung 5a–e Darstellung der Kanäleingänge am Beispiel eines Oberkiefer-6ers; zu beachten ist der sehr weit unter einer Dentinbrücke versteckte Kanal „mbII“.

Figure 5a–e Preparation of the root canal orifices e. g. at an upper first molar; notice the location canal „mbII“ below a dentin bridge.

ler Präparation 94 % der Proben frei von Bakterien, bei kleinerer apikaler Präparation nur 84 % [12]. Auch *Sjögren* et al. berichteten, dass eine apikale Aufbereitung bis zu 40 zu einer stärkeren Bakterienreduktion führt als kleinere Aufbereitungsgrößen [41].

Baugh et al. kamen in einem Übersichtsartikel zu dem Schluss, dass eine stärkere bakterielle Reduktion und effektivere Irrigation bei einer größeren apikalen Aufbereitung erreicht wird [4]. Die große Zahl anatomischer Variationen

der apikalen Konstriktion erschwert weiter eine allgemeingültige Aussage zur „richtigen“ apikalen Aufbereitungsgröße. Eine exakte klinische Messung der komplexen apikalen Region ist zurzeit nicht möglich.

Bei der Festlegung der apikalen Aufbereitungsgröße spielen somit unterschiedliche Faktoren eine Rolle. So ist davon auszugehen, dass bei Vital-Exstirpationen die apikale Aufbereitungsgröße kleiner gehalten werden kann, als bei infizierten Zähnen (infi-

zierte Nekrose, ehemals Gangrän), da bei diesen Zähnen von einer vollständigen bakteriellen Kontamination des Kanalsystems auszugehen ist. Zusammenfassend sollte die apikale Aufbereitung kurz vor der apikalen Konstriktion enden, eine suffiziente Größe für den Zutritt von Spülflüssigkeiten zur maximalen Bakterienreduktion aufweisen und eine optimale Obturation ermöglichen, ohne jedoch exzessiv Hartsubstanz zu entfernen, um die Wurzel nicht zu stark zu

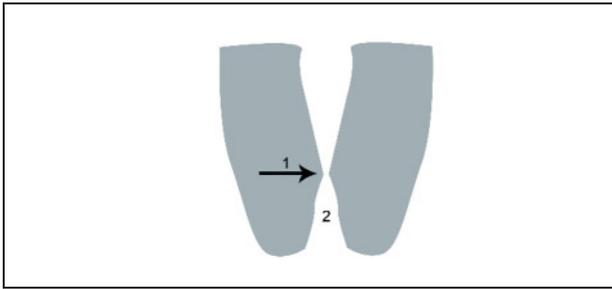


Abbildung 6a Schematische Darstellung der apikalen Region. Punkt 1 kennzeichnet den theoretischen Endpunkt der elektrometrischen Längenbestimmung. Punkt 2 entspräche dem Kanalabschnitt (evtl. bis zu 3 mm), der nur ungenügend gereinigt wird.

Figure 6a Schematic view of the apical region. Dot 1 shows the theoretical endpoint of the electrometrical determination of the root canal length, dot 2 would indicate the section of the canal (up to 3 mm) which would be insufficiently cleaned/prepared.

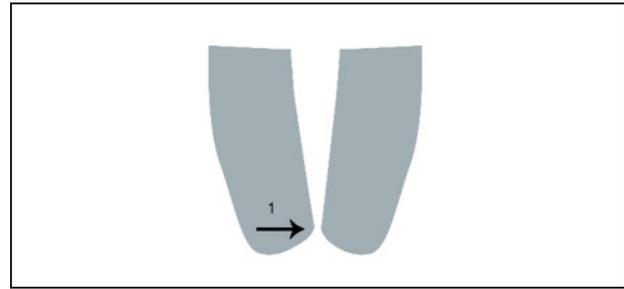


Abbildung 6b Punkt 1 kennzeichnet die mechanisch geschaffene engste Stelle im Wurzelkanal. Der nicht gereinigte Kanalabschnitt reduziert sich durch dieses Vorgehen erheblich.

Figure 6b Dot 1 shows the narrowest area in the root canal after mechanical preparation. The non cleaned section of the canal is extensively reduced through this procedure.

schwächen und Aufbereitungsfehler zu vermeiden (Abb. 7).

Patency

Entscheidend für ein antibakterielles Behandlungskonzept ist, dass die Durchgängigkeit (Patency) des Wurzelkanals durch die apikale Konstriktion zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist. Kommt es zu einer Verblockung, kann dieser Bereich nicht mehr richtig gereinigt werden und das Material, welches die Verblockung verursacht, könnte selbst auch infiziert sein (infizierte Dentinspäne). Aus diesem Grund, wird die Durchgängigkeit immer wieder während der Behandlung mit einem kleinen Handinstrument kontrolliert (ISO 06, 08 oder 10 je nach anatomischer Ausgangssituation). Es darf die apikale Konstriktion jedoch nicht verletzt, erweitert oder verlagert werden. Ist Patency zu jedem Zeitpunkt vorhanden, ermöglicht dies eine effektive Reinigung der apikalen Region [21].

Spülflüssigkeiten und medikamentöse Einlagen

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass etwa ein Drittel der Wurzelkanaloberfläche durch mechanische Instrumentierung nicht erfasst wird [32]. Um aber eine signifikante Bakterienreduktion in allen Bereichen des Wurzelkanalsystems erreichen zu können, kommt den Spüllösungen in einem antimikro-

biellen Aufbereitungskonzept eine entscheidende Rolle zu. Die Ziele der Wurzelkanalspülung sind dabei eine Desinfektion des Endodonts durch antimikrobielle Wirkung [19], die Auflösung organischen als auch anorganischen Kanalinhalt – auch in Bereichen, die der mechanischen Reinigung nicht zugänglich sind – eine Inaktivierung bakterieller Lipopolysaccharide, ein Abtransport von Debris sowie eine Entfernung der durch mechanische Bearbeitung entstandenen Schmierschicht [51]. Um diese vielfältigen Aufgaben zu erfüllen, kommen im Spülprotokoll Natriumhypochlorit (NaOCl), EDTA, Alkohol oder auch Chlorhexidin (CHX) zur Anwendung.

Natriumhypochlorit (NaOCl)

Natriumhypochlorit gilt als eines der ältesten und bewährtesten Spülmittel in der Endodontie mit einer hervorragenden Wirkung auf die Mehrzahl der endodontisch relevanten Mikroorganismen [9]. Es besitzt eine hervorragende desinfizierende und gewebsauflösende Wirkung. Hinsichtlich seiner Fähigkeit, nekrotisches Gewebe aufzulösen, ist NaOCl allen anderen üblichen Spüllösungen bereits in 1%iger Konzentration überlegen [29]. Uneinigkeit herrscht in der Literatur über die Konzentration des NaOCl. Hierbei liegen die diskutierten Konzentrationen zwischen 0,5 % – 5,25 %. *Siqueira* et al. konnten in einer vergleichenden Studie der antimikrobiellen Wirkung von 1 %, 2,5 % und

5,25 % NaOCl keine signifikanten Unterschiede finden [39]. Viel wichtiger scheinen hierbei jedoch der Umsatz und die Einwirkzeit von NaOCl zu sein. Jeder Kanal sollte mit mindestens 10 ml NaOCl gespült werden [50], wobei die Einwirkzeit mindestens 30 Minuten betragen sollte. Durch Erwärmung von NaOCl auf 40 – 60° kann die Aktivität der Lösung signifikant gesteigert werden [14]. Um eine möglichst direkte Applikation von NaOCl auch in tiefen Kanalabschnitten zu gewährleisten, können spezielle endodontische Kanülen mit abgerundeten Spitzen verwendet werden.

Ethylendiamintetraacetat (EDTA)

Die Wirkungsweise von EDTA beruht auf seiner Eigenschaft als Chelator. Es bindet Kalziumionen aus dem Dentin, welches zur Entfernung des „Smearlayers“ und zur Erweichung des Dentins führt [20]. EDTA als 15 – 17%ige Lösung hat sich als äußerst effektiv bei der Entfernung der Schmierschicht (entsteht durch Dentinabrieb bei der mechanischen Bearbeitung) erwiesen, besitzt aber keine nennenswerten antimikrobiellen oder gewebsauflösenden Eigenschaften. Durch die Entfernung der Schmierschicht wird die Penetration des NaOCl in alle Bereiche des Wurzelkanalsystems verbessert. Im Laufe der Behandlung sollte mit ca. 5 ml EDTA pro Kanal gespült werden. Dabei sollte eine Einwirkzeit von 1 min nicht überschritten werden, da dies zu deutlichen Erosionen am Dentin führen

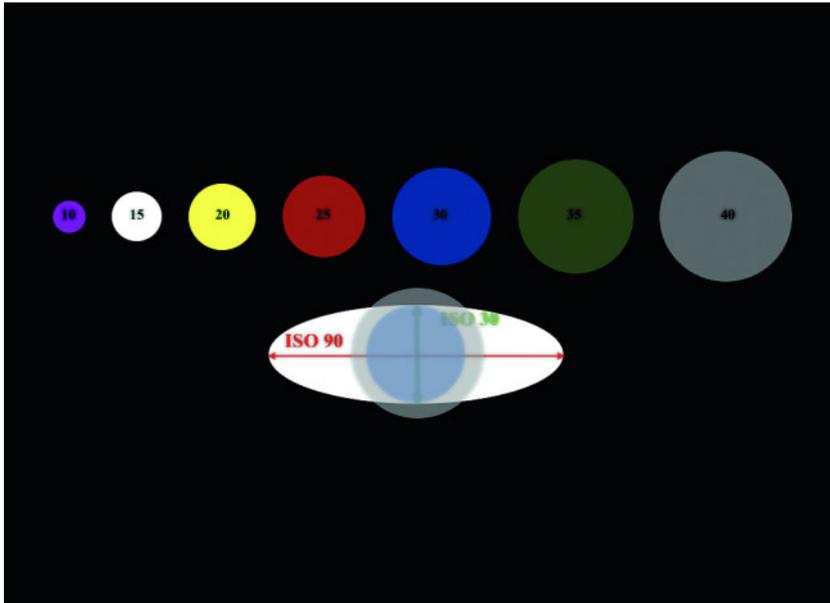


Abbildung 7 Das weiße Oval stellt das Kanallumen auf Höhe der Arbeitslänge dar. Oberhalb sind Feilen mit verschiedenen ISO Größen zu erkennen. Deutlich wird, dass auch bei ISO Größe 40 eine solche Kanalform mechanisch nicht vollständig bearbeitet werden kann.

Figure 7 The lumen of the canal at working length is indicated by the white oval. Above of this area files of different ISO sizes are shown. It is obvious that even an instrument of ISO size 40 would not be appropriate to prepare a canal with this shape completely.



Abbildung 8 Schwingende Ultraschallnadel. Zu sehen ist, wie sich die Strömungsphänomene in der Flüssigkeit fortsetzen.

Figure 8 Swinging ultrasonic needle. The image demonstrates the streaming phenomenon in the water.



Abbildung 9 Unterkiefermolar mit erkennbar gefülltem apikalem Delta in der mesialen Wurzel.

Figure 9 Lower molar with filled apical delta in the mesial root.

kann [10]. Da die Wirkung von NaOCl durch EDTA inhibiert wird, ist die Verwendung von EDTA-Gelen kritisch zu sehen. Unabhängig davon scheinen sie ohnehin die Rotation der Instrumente im Kanal nicht zu verbessern. Im Rahmen der Spülung ist die abwechselnde Benutzung unproblematisch, da das eine Spülmedium das andere zügig ersetzt. EDTA erzielt die Freilegung von Dentintubuli, schmalen Isthmen und Seitenkanälen, wodurch eine Penetration von NaOCl in diese Bereiche ermöglicht wird [52].

Ultraschallaktivierte Spülung

Der passiven ultraschallaktivierten Spülung kommt eine wichtige Rolle zu. Passiv bedeutet in diesem Fall, dass die Flüssigkeit nicht durch das Ultraschallgerät gepumpt wird, sondern manuell mit der Spülkanüle appliziert wird. In einer Reihe von Studien konnte die Überlegenheit der ultraschallgestützten Spültechnik (vorzugweise mit Piezo-Ultraschallgeräten) gegenüber der konventionellen manuellen Spültechnik nachgewiesen werden. So kam es bei Spülung mit Ultraschall zu einer signifikanten Reduzierung der Keimzahl [44]. In rasterelctronenmikroskopischen Untersuchungen zur Sauberkeit der Wurzelkanalwände waren ultraschallaktivierte Spülungen manuellen Spülungen ebenfalls überlegen [11]. Die gute Reinigungswirkung beruht dabei vorwiegend auf akustischen Strömungsphänomenen. Die Rolle des Kavitationseffektes ist nicht vollständig geklärt. Für die ultraschallaktivierte Spülung werden spezielle K-Feilen kleiner ISO-Größen (ISO 15–25) empfohlen. Diese sollten ohne Wandkontakt frei im Kanal schwingen können, um unnötigen Dentinabtrag und die Gefahr von Stufenbildungen zu minimieren. Da eine bestimmte Größe des Wurzelkanals benötigt wird, um ein freies Schwingen zu gewährleisten, erfolgt am Ende der Aufbereitung die ultraschallaktivierte Spülung. Dazu wird NaOCl in den Kanal gestellt und für 20 Sekunden aktiviert. Dieses Prozedere wird drei Mal durchgeführt (Abb. 8).

Alkohol

Als Abschlusspülung wird hochkonzentrierter Alkohol verwendet. Dies

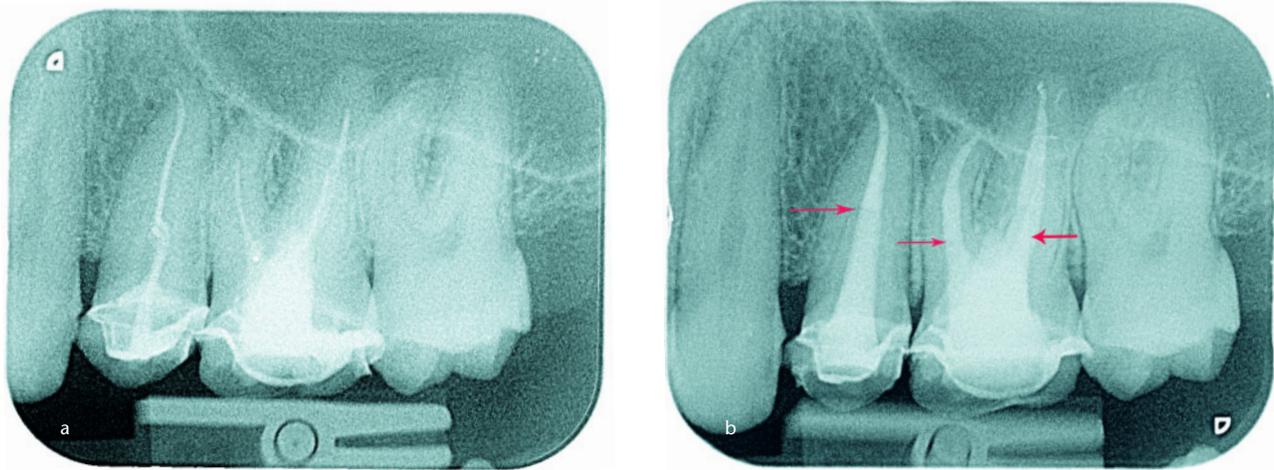


Abbildung 10 Blick in die Pulpakammer eines Oberkiefer-Molaren. Es sind keine Sealerreste vorhanden, die Dentinwände sind „angefrischt“ und die Wurzelkanalfüllung ist bis 3 mm unterhalb des Kavums reduziert, um eine größere Verankerungsfläche für den Aufbau zu bilden (Kompositzapfen).

Abbildung 10a Situation vor der Revision.

Abbildung 10b Nach der Revision ist röntgenologisch der adhäsive postendodontische Aufbau zu erkennen. Die roten Pfeile veranschaulichen, wie tief der Aufbau im Kanal verankert ist (gepinnter Aufbau).

Figure 10 View into the pulp chamber of an upper molar. No sealer remnants are visible, dentin walls are freshly prepared and the root canal filling is reduced by 3 mm below the pulp chamber in order to create an increased retention for the composite build-up.

Figure 10a View before revision.

Figure 10a After revision the ultrasonic post-endodontic composite build-up is shown. The red arrows demonstrate how deep the build-up composite is fixed in the canal („pinned build-up“).

(Abb. 2-10: C. Zirkel)

erleichtert einerseits die Trocknung des Wurzelkanals, andererseits soll die Adhäsion des Sealers und die Penetration in Dentintubuli verbessert werden [48].

Chlorhexidindigluconat (CHX)

Chlorhexidin wirkt auch wegen der hohen Substantivität sehr gut bakterizid, ist aber nicht in der Lage, Gewebe aufzulösen [2]. Möglicherweise wirkt Chlorhexidin besser als NaOCl gegen einzelne Bakterien, z. B. *Enterococcus faecalis*, welcher als endodontischer Problemkeim beschrieben wird [27]. So konnte sowohl in 0,2%iger, 1%iger und 2%iger Konzentration eine vollständige Elimination von *E. faecalis* innerhalb einer Minute erreicht werden [17]. Besondere Bedeutung scheint diesem Bakterium bei persistierenden Parodontitiden nach bereits erfolgter Wurzelkanalbehandlung zu zukommen. In diesen Fällen können Monoinfektionen mit *Enterococcus faecalis* nachgewiesen werden. Trotz allem ist aus der heutigen Studienlage eine eindeutige Empfehlung nur

schwer abzuleiten, da ebenso viele Studien vorliegen, die keine Unterschiede zwischen CHX und NaOCl finden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass ein direkter Kontakt von NaOCl mit CHX zur Ausbildung eines rot-bräunlichen Niederschlages führt. Dabei handelt es sich um das potentiell kanzerogene p-Chloranilin [3]. Aufgrund dessen soll ein Kontakt der beiden Spülflüssigkeiten, z. B. durch eine Zwischenspülung mit Alkohol vermieden werden.

Medikamentöse Einlagen

Sind mehrere Behandlungstermine geplant wird gegenwärtig eine medikamentöse Einlage mit frisch angemischtem Kalziumhydroxid empfohlen. Es wirkt antimikrobiell, hemmt möglicherweise die Proliferation überlebender Bakterien und verhindert effektiv eine Reinfektion durch Keime aus der Mundhöhle. So fanden *Byström* et al. nach Applikation einer phenolhaltigen Zwischeneinlage nur in 66 % einen bakterienfreien Wurzelkanal, nach Einlage von Kalziumhydroxid hingegen in 97 %

bakterienfreie Kanäle [7]. Kalziumhydroxid wirkt über lange Zeit antimikrobiell und kann damit auch über längere Zeit als medikamentöse Zwischeneinlage im Kanal verbleiben [42]. Wichtig hierbei ist der direkte Kontakt des Kalziumhydroxides zur Kanalwand. Hilfreich ist deshalb die Verwendung von dünnen Applikationskanülen oder auch gegen den Uhrzeigersinn rotierenden NITI-Instrumenten.

Der „temporäre“ dichte antimikrobielle Verschluss

Sind mehrere Behandlungssitzungen vorgesehen, kommt einem bakterien-dichten Verschluss des Zahnes zwischen den einzelnen Behandlungssitzungen eine entscheidende Rolle zu. *Koagel* et al. konnten bei einer Microleakage-Studie mit vier populären, sogenannten „temporären“ Füllungsmaterialien nachweisen, dass keines der getesteten Materialien bakterien-dicht war [23]. Aber nur ein absolut bakterien-dichter koronaler Verschluss kann den erzielten Erfolg der Bakterienreduktion und die Wirksamkeit der medikamentösen Einlage zwi-

schen den Behandlungssitzungen sicherstellen. Deshalb wird in unserem antibakteriellen Aufbereitungskonzept jeder Zahn zwischen einzelnen Behandlungssitzungen durch einen dichten dentinadhäsiven Verschluss mit Komposit gegen eine bakterielle Rekontamination aus der Mundhöhle gesichert. Durch dieses Vorgehen wird zusätzlich die Frakturgefahr reduziert.

Die Wurzelkanalfüllung

Ziele der Wurzelkanalfüllung sind der Verschluss aller gereinigten Hohlräume, die Vermeidung einer erneuten Perkolation sowie die Substratzufuhr zu verbliebenen Bakterien zu verhindern.

Auf die vielen verschiedenen Techniken sowie ihre Vor- und Nachteile soll jedoch im Rahmen dieses Artikel nicht weiter eingegangen werden, da die antibakterielle Bedeutung sowie die Überlegenheit einer bestimmten Technik nicht vollständig geklärt ist.

So mag es plausibel erscheinen, warme plastische Füllverfahren zu verwenden, getrieben von dem Wunsch alle gereinigten Bereiche auch zu obturieren, jedoch ist dies wissenschaftlich kaum zu belegen (Abb. 9).

Die postendodontische Versorgung

In einem strikten antimikrobiellen Behandlungskonzept stellt erst eine dauerhafte postendodontische Versorgung

des Zahnes das Ende der endodontischen Behandlung dar. *Economides* et al. zeigten, dass Bakterien bzw. deren Endotoxine in der Lage sind eine bestehende Wurzelkanalfüllung in 7 bis 42 Tagen vollständig zu penetrieren [15]. In einer weiteren Studie von *Trope* et al. sank die Erfolgsquote bei Zähnen mit guter Wurzelkanalbehandlung und undichtem koronalen Verschluss von über 90 % auf 44 % [33]. Daraus folgt, dass einem koronal dichten adhäsiven Verschluss eine ähnlich wichtige Rolle wie der Wurzelkanalbehandlung selbst zukommt. In Abhängigkeit vom Substanzverlust des jeweiligen Zahnes wird zumindest im Seitenzahngebiet eine die Höcker fassende prothetische Versorgung des endodontisch behandelten Zahnes angestrebt. So frakturierten in einer Untersuchung von *Vire* et al. 59 % alle wurzelkanalbehandelten, prothetisch unversorgten Zähne [47].

Falls aufgrund stark reduzierter Hartschicht die Insertion eines Stiftes notwendig ist, sollte auch dieser in derselben Sitzung direkt nach der Wurzelkanalfüllung eingebracht werden. So ist die Gefahr einer bakteriellen Rekontamination durch eine erneute Eröffnung des Zahnes minimiert.

Wichtig ist, dass vor der adhäsiven Rekonstruktion, sei es durch einen Kompositaufbau oder zusätzlich durch einen Quarzfaserstift, alle Dentinflächen „angegriffen“ werden müssen. Da die NaOCl Spülung einen Einfluss auf die Kollagenstruktur des Dentins hat, würde sich ansonsten keine vollständige Hybridschicht (ein Bestandteil des Verbun-

des zum Dentin) ausbilden. Weiterhin gilt zu beachten, dass alle Sealerrückstände sorgfältig entfernt werden. Ansonsten verbinden sich diese mit dem Adhäsivsystem, woraufhin die Adhäsion reduziert wird (Abb. 10a u. 10b).

Fazit

Die moderne Endodontie stellt eine hervorragende Methode zum Erhalt der Zähne mit sehr gut vorhersagbaren Ergebnissen dar.

Obwohl uns heutzutage viele technische Hilfsmittel zur Verfügung stehen, sind die Kenntnisse um die komplexen anatomischen Strukturen, die bakterielle Ätiologie und genügend Zeit Grundvoraussetzungen für den langfristigen Erfolg. Endodontie ist nach wie vor nicht die einfache, schnelle Behandlung zwischen zwei Präparationsterminen, sondern eine der komplexesten Behandlungen in unserem Alltag. D77

Interessenkonflikt: Der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Dr. Christoph Zirkel
 Dres. Hartmann, Zirkel und Kollegen
 Gyrhofstraße 24
 50931 Köln
 Tel.: 02 21 / 41 73 78
 Fax: 02 21 / 94 15 470
 E-Mail: info@gesunderzahn.de
 Internet: www.gesunderzahn.de

Literatur

1. Appel C: Die endodontische Arbeitslänge – zwischen Wissenschaft und Tradition. *Endodontie* 17, 375–381 (2008)
2. Baqui AA: In vitro effect of oral antiseptics on human immunodeficiency virus-1 and herpes simplex virus type 1. *J Clin Periodontol* 28, 610–616 (2001)
3. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A: Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod* 33, 966–969 (2007)
4. Baugh D, Wallace J: The role of apical instrumentation: A review of the literature. *J Endod* 31, 333–340 (2005)
5. Blome B, Braun A, Sobarzo V, Jepsen S: Molecular identification and quantification of bacteria from endodontic infections using real-time polymerase chain reaction. *Oral Microbiol Immunol* 23, 384–390 (2008)
6. Buchanan LS: The standardized taper root canal preparation: part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *Int Endod J* 33, 516–529 (2000)
7. Byström A, Claesson R, Sundqvist G: The antimicrobial effect of champhorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endod Dent Traumatol* 1, 170–175 (1985)
8. Bystrom A, Sundqvist G.: Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 89, 321–328 (1981)
9. Bystroem A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the effect of 0,5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg* 55, 307–311 (1983)
10. Calt S, Serper A: Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod* 28, 17–19 (2002)
11. Cheung GS, Sock CJ: In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *Int Endod J* 26, 334–343 (1993)
12. Coldero L, McHugh S, MacKenzie D, Saunders W: Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *Int Endod J* 35, 437–446 (2002)
13. Costerton JW, Veeh R, Shirtcliff M, Pas-

- more M, Post C: The application of bio-film science to the study and control of chronic bacteria infections. *J Clin Invest* 112, 1466–1477 (2003)
14. Cunningham WT, Joseph SW: Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 50, 569–571 (1980)
15. Economide N: Comparative study of the sealing ability of a polydimethylsiloxane-based root canal sealer. *Braz Dent J* 16, 145–148 (2005)
16. Figor D, Sundqvist G: A big role for the very small – understanding the endodontic microbial flora. *Aust Dent J* 52, 38–51 (2007)
17. Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ: In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 34, 424–428 (2001)
18. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL: Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 10, 103–122 (2005)
19. Harrison JW: Irrigation of the root canal system. *Dent Clin North Am* 28, 797–808 (1984)
20. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A: Chelating agents in root canal treatment. Mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 36, 810–830 (2003)
21. Jose F, Siqueira JR: Reaction of periradicular tissues to root canal treatment: benefits and drawbacks. *Endodontic Topics* 10, 123–147 (2005)
22. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ: The effects of surgical exposure of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 18, 340–348 (1965)
23. Koagel SO, Mines P, Apicella M, Sweet M: In vitro study to compare the coronal microleakage of TempitUltraE, Tempit, IRM and Cavit by using a fluid transportation model. *J Endod* 34, 442–444 (2008)
24. Kuttler Y: Microscopic investigation of root apices. *J Am Dent Assoc* 50, 544–552 (1955)
25. Langeland K, Dowden WE, Tronstad L, Langeland LK: Human pulp changes of iatrogenic origin. *Oral Surg* 32, 943 (1971)
26. Love RM: Regional variation in root dentinal tubule infection by streptococcus gordonii. *J Endod* 22, 290–293 (1996)
27. Molander A, Reit C, Dahlen G, Kvist T: Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int J Endod* 31, 1–7 (1998)
28. Moller AJR, Fabricius L, Dahlen G, Ohmar AE, Heyden G: Influence of periradicular tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissues in monkeys. *Scand J Dent Res* 89, 475–484 (1981)
29. Naenni N, Thoma K, Zehnder M: Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod* 30, 785–787 (2004)
30. Nair RPN, Henry S, Cano V, Vera J: Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after „one-visit“ endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radio Endod* 99, 231–252 (2005)
31. Nair PNR: Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *J Endod* 13, 121–148 (1987)
32. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F: Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod* 27, 1–6 (2001)
33. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* 28, 12–18 (1995)
34. Rochas IN, Hülsmann M, Siqueira J Jr.: Microorganisms in root-canal treated teeth from a german population: *J Endod* 34, 926–931 (2008)
35. Schilder H: Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* Nov, 723–744 (1967)
36. Siqueira F, Clinical Implications and Microbiology of Bacterial Persistence after Treatment Procedures *J Endod* 34, 1291–1301 (2008)
37. Siqueira JF jr, Rochas IN: Exploiting molecular methods to explore endodontic infections. Part 2. Redefining the endodontic microbiota. *J Endod* 31, 411–423 (2005)
38. Siqueira J, Rochas I, Lopes H: Patterns of microbial colonization in primary root canal infection. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radio Endod* 93, 174–178 (2002)
39. Siqueira JF jr, Rocas IN, Favieri A, Lima KC: Chemo-mechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1 %, 2,5 % and 5,25 % sodium hypochlorite. *J Endod* 26, 331–334 (2000)
40. Siqueira J, Lima K, Magalhaes F, Lopes H, de Uzeda M: Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod* 25, 332–335 (1999)
41. Sjögren US, Figdor D, Spanberg L, Sundqvist G: The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J* 24, 763–767 (1998)
42. Sjögren U, Figdor D, Spanberg LSW, Sundqvist G: The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short term intracanal dressing. *Int Endod J* 24, 119–125 (1991)
43. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long term results of endodontic treatment. *J Endod* 16, 498–504 (1990)
44. Sjögren U, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of ultrasonic root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 63, 366–370 (1987)
45. Sundqvist U, Figdor D: Endodontic treatment of apical periodontitis. In: Orsatvik D, Pitt Ford TR, ed.: *Essential Endodontology: Prevention and treatment of apical periodontitis*. 1st edn. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK 1994, 242–269
46. Sundqvist G: Bacteriological studies of necrotic dental pulps. *Odontological Dissertations no. 7*. Umea, Sweden: Umea University 1976
47. Vire DE: Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *J Endod* 17, 338–342 (1991)
48. Wilcox LR, Wiemann AH: Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. *Int Endod J* 21, 256–258 (1995)
49. Wilson M: Susceptibility of oral bacterial biofilms to antimicrobial agents. *J Med Microb* 44, 79–87 (1996)
50. Yamada R, Armas A, Goldman M, Pin P: A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions. Part 3. *J Endod* 9, 137–142 (1983)
51. Zehnder M: root canal irrigants. *J Endod* 32, 389–398 (2006)
52. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Walimo T: Chelation in root canal therapy reconsidered: *J Endod* 31, 817–820 (2005)