

Wurzelkanalinfektion – Spüllösungen und Aktivierungstechniken

Tina Rödiger



Indizes

Desinfektion, Laser, Schall, Spüllösungen, Ultraschall

Zusammenfassung

Die chemomechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems stellt neben der bakteriendichten Restauration den wichtigsten Bestandteil der Therapie dar und beeinflusst den Erfolg der Behandlung maßgeblich. Ein optimales Desinfektionskonzept sollte vor allem die mikrobiologische Ausgangssituation berücksichtigen und zwischen nichtinfizierten und infizierten Kanalsystemen differenzieren. In diesem Beitrag werden die Eigenschaften, Limitationen sowie Interaktionen verschiedener Spüllösungen vorgestellt und die Techniken der schall-, ultraschall- und lasergestützten Aktivierung erläutert. Abschließend werden Spülprotokolle für verschiedene klinische Situationen abgeleitet.

Einleitung

Mikroorganismen sowie deren Stoffwechselprodukte stellen den entscheidenden ätiologischen Faktor für die Entstehung und Persistenz pulpaler und periradikulärer Erkrankungen dar⁷. Aus diesem Grund sind die Reinigung und Desinfektion des Kanalsystems sowie die koronale Restauration die wichtigsten Schritte der endodontischen Therapie. Grundsätzlich muss zwischen zwei verschiedenen klinischen Diagnosen differenziert werden, da sie sich hinsichtlich der mikrobiologischen Ausgangssituation sowie der Prognose voneinander unterscheiden. Im Fall einer Vitalexstirpation befinden sich keine Mikroorganismen im irreversibel entzündeten Pulpagewebe, sodass eine iatrogene Infektion des sterilen Endodonts unbedingt vermieden werden muss (Prinzip der Asepsis). Im Gegensatz dazu ist bei einer Pulpanekrose nicht nur das pulpal Gewebe, sondern auch das angrenzende Kanalwanddentin infiziert. In dieser Situation steht die umfangreiche Reduktion der Mikroorganismen im

Vordergrund, um die Voraussetzung für die Heilung einer apikalen Parodontitis zu schaffen (Prinzip der Antisepsis).

Mikrobiologische und anatomische Grundlagen

Mithilfe moderner molekulargenetischer Methoden wurden bislang mehr als 500 Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem identifiziert. Bei primären Infektionen schwankt die Keimzahl zwischen 10^3 und 10^8 Mikroorganismen, wobei durchschnittlich 35 verschiedene Bakterienspezies mit großer individueller Variabilität in einem Kanalsystem vorhanden sind. Dabei handelt es sich überwiegend um anaerobe gramnegative (v. a. Proteobakterien, Bacteroidetes und Fusobakterien) sowie grampositive Bakterien wie Firmicutes (z. B. Peptostreptokokken, Laktobazillen) und Aktinobakterien. In wurzelkanalgefüllten Zähnen mit persistierender apikaler Parodontitis treten im Vergleich zu primären Infektionen deutlich weniger Bakterienspezies auf, die

sich vermehrt aus grampositiven Kokken (z. B. Streptokokken, Enterokokken) zusammensetzen und eine Subpopulation des ursprünglichen endodontischen Mikrobioms darstellen. Die vor einigen Jahren vermutete Bedeutung von *Enterococcus faecalis* als wichtigster pathogener Keim bei der Entstehung postendodontischer Erkrankungen wird mittlerweile angezweifelt¹⁴. Ebenso wurde die ursprüngliche Annahme, dass Hefepilze (v. a. *Candida albicans*) überwiegend bei persistierenden Infektionen auftreten, inzwischen revidiert. Neuere Untersuchungen belegen für *Candida albicans* eine relativ geringe Prävalenz von ungefähr 8 % unabhängig von der Art der Infektion⁹.

Mikroorganismen bilden einen an der Kanalwand anhaftenden Biofilm (Abb. 1), wodurch sich ihre Resistenz gegenüber antimikrobiellen Substanzen im Vergleich zu planktonischen Bakterien bis um das 1.000-Fache erhöht. Die mikrobielle Kolonisation schreitet entlang der Dentintubuli in das Kanalwanddentin fort, wobei die Infektion in der Regel koronal ausgeprägter ist als apikal.

Obwohl dieses infizierte Dentin während der mechanischen Präparation teilweise entfernt wird, verbleiben aufgrund der anatomischen Komplexität des Endodonts (Abb. 2) trotz Verwendung moderner Nickel-Titan (NiTi)-Systeme große Anteile der Kanaloberfläche unbearbeitet. In Abhängigkeit von der Morphologie werden insbesondere bei ovalen Kanalsystemen bis zu 80 % der Dentineoberfläche nicht präpariert¹⁶ (Abb. 3). Diese Bereiche können Gewebereste sowie im Fall einer infizierten Pulpanekrose Mikroorganismen enthalten und somit die Entstehung oder Persistenz einer apikalen Parodontitis begünstigen.

Die mechanische Präparation verringert zwar die Anzahl der Mikroorganismen um den Faktor 100 bis 1.000, führt jedoch als alleinige Maßnahme nicht zu einer suffizienten Desinfektion des Endodonts. Aus diesem Grund müssen antimikrobiell wirksame und gewebeauflösende Spülflüssigkeiten verwendet werden, um eine ausreichende Keimreduktion für die Heilung einer apikalen Parodontitis zu gewährleisten.

Während der mechanischen Bearbeitung des Kalandentins entsteht eine Schmierschicht („Smear layer“, Abb. 4), die neben anorganischen (Hydroxyl-

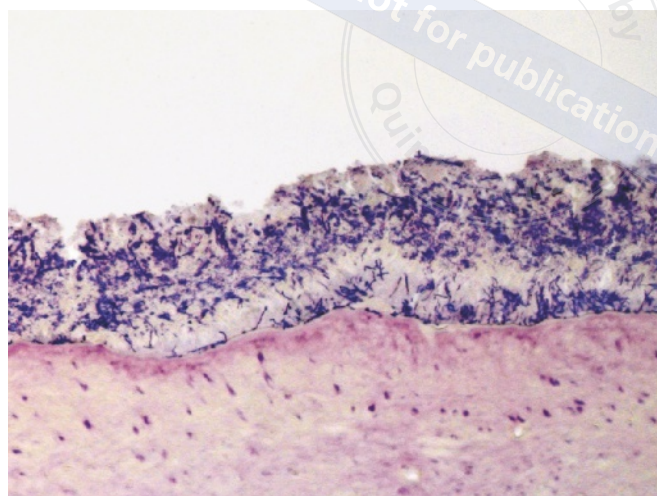


Abb. 1 Mit Biofilm bedeckte Wurzelkanalwand (20-fache Vergrößerung).

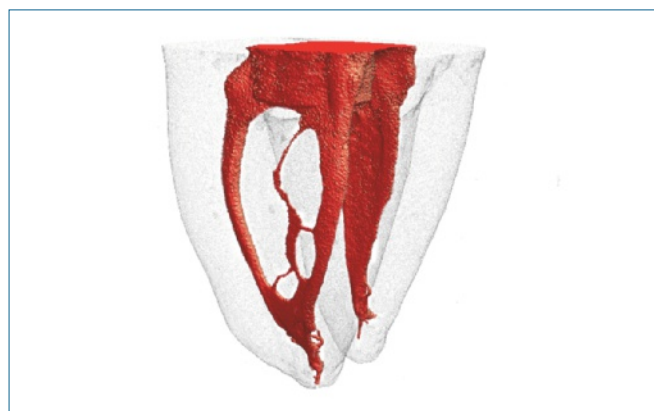


Abb. 2 Die mikrocomputertomografische Aufnahme eines Unterkiefermolaren verdeutlicht die komplexe Anatomie mit Isthmen und Seitenkanälen.

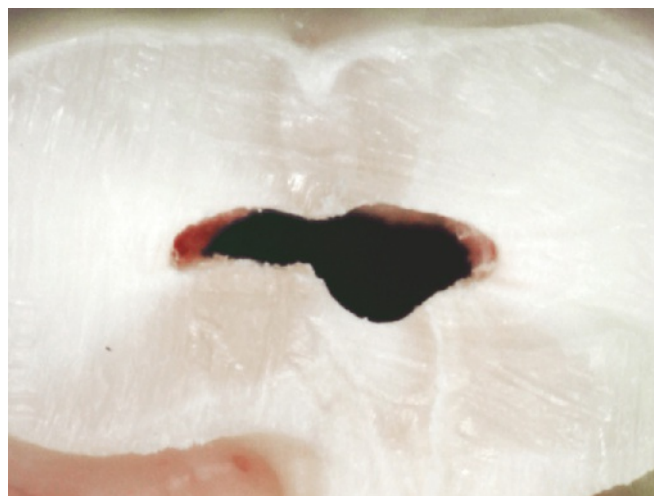


Abb. 3 Horizontaler Querschnitt durch einen Unterkiefermolaren. Die seitlichen, nichtinstrumentierten Bereiche enthalten Gewebereste.

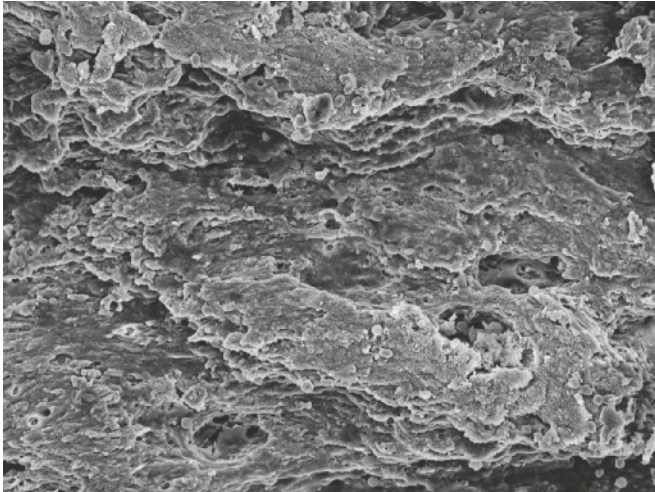


Abb. 4 Die präparationsbedingte Schmierschicht bedeckt die Eingänge der Dentintubuli (5.000-fache Vergrößerung).

apatit) auch organische Bestandteile (Kollagenfasern, pulpaie Gewebereste, Odontoblastenfortsätze, Bakterien) enthält. Da diese Schmierschicht durch die Wurzelkanalinstrumente in die Dentintubuli gepresst wird, verhindert sie eine Penetration desinfizierender Substanzen in tiefere Schichten des Kanalwanddentins, reduziert die Adaptation der Füllmaterialien und dient den im Kanalsystem verbliebenen Mikroorganismen als Substrat. Aus diesen Gründen wird nach der Wurzelkanalpräparation eine Entfernung der Schmierschicht empfohlen, obwohl ihre klinische Relevanz für die Prognose der Behandlung bislang ungeklärt ist¹⁸.

Spülflüssigkeiten

Aufgrund der zuvor genannten mikrobiologischen und anatomischen Limitationen der Wurzelkanalpräparation ist eine zusätzliche Anwendung gewebeauflösender und desinfizierender Spüllösungen notwendig. Dabei sollte eine ideale Spülflüssigkeit sowohl biologische Merkmale wie antimikrobielle Wirksamkeit mit Desintegration des Biofilmes, gute Biokompatibilität, keine Veränderung der Dentineigenschaften als auch chemische und mechanische Funktionen wie Auflösung von Pulpagewebe und Schmierschicht und Abtransport von Debris, Lubrikation der Instrumente aufweisen. Zum aktuellen Zeitpunkt erfüllt keine Spüllösung all diese Anforderun-

gen, sodass eine Kombination verschiedener Spülflüssigkeiten unter Berücksichtigung möglicher Interaktionen sinnvoll erscheint.

Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit (NaOCl) weist einen pH-Wert von 11 bis 12 auf und stellt die Standardspülflüssigkeit in der modernen Endodontie dar. Sie ist die einzige Spüllösung, die sowohl nekrotisches als auch vitales Pulpagewebe auflösen und die organischen Bestandteile der Schmierschicht entfernen kann. Ferner besitzt es bakterizide, viruzide und fungizide Eigenschaften und ist in der Lage, den Biofilm zu zerstören. NaOCl verfügt über eine gute Wirksamkeit gegenüber den meisten endodontisch relevanten Keimen und ist in Konzentrationen von 0,5 bis 6 % verfügbar. Obwohl einige experimentelle Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen antibakterieller Wirksamkeit und Konzentration feststellten, belegen klinische Daten eine vergleichbare antimikrobielle Effektivität von niedrig- und hochkonzentriertem NaOCl³. Darüber hinaus ist die Heilung einer apikalen Parodontitis bei Primärbehandlungen von der Konzentration des verwendeten NaOCl unabhängig¹⁷. Da mit zunehmender Konzentration auch das Risiko einer Gewebeschädigung bei Kontakt mit den periradikulären Strukturen steigt, wird häufig die Verwendung von 1%igem NaOCl empfohlen^{17,19}.

Sowohl die gewebeauflösende als auch die antimikrobielle Wirksamkeit des NaOCl ist von der Menge an frei verfügbarem Chlor abhängig, welches jedoch durch den Kontakt mit organischem Material oder Bakterien innerhalb von 1 bis 2 Min. verbraucht wird. Daher ist es vor allem bei niedrigkonzentriertem NaOCl sinnvoll, das Volumen der Spülflüssigkeit und die Häufigkeit des Flüssigkeitsaustausches zu erhöhen. Für eine effektive Desinfektion sollte die Kontaktzeit des NaOCl auf den Biofilm mindestens 30 Min. betragen. Hierfür kann das Kavum unmittelbar nach der Präparation der Zugangskavität mit NaOCl gefüllt werden, um die koronalen Kanalbereiche bereits zu Beginn der Behandlung ausreichend zu desinfizieren. Während der weiteren Instrumentierung sollten die Kanalsysteme stets mit frischem NaOCl gefüllt sein, um eine ausreichende Einwirkzeit zu gewährleisten.

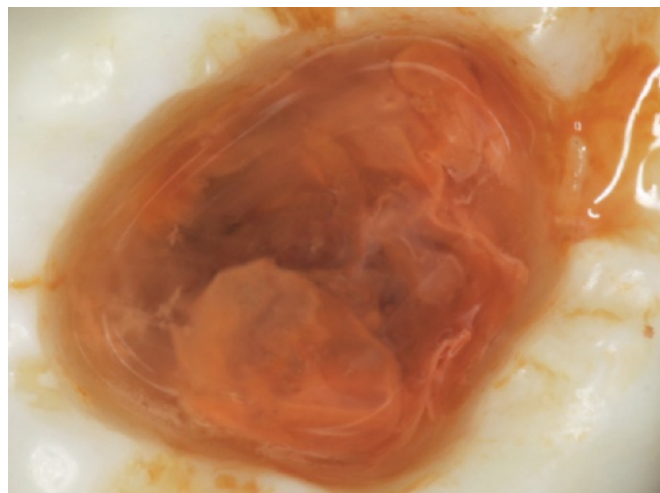


Abb. 5 Der Kontakt von Natriumhypochlorit (NaOCl) und Chlorhexidin (CHX) führt zur Bildung eines unlöslichen Präzipitates.

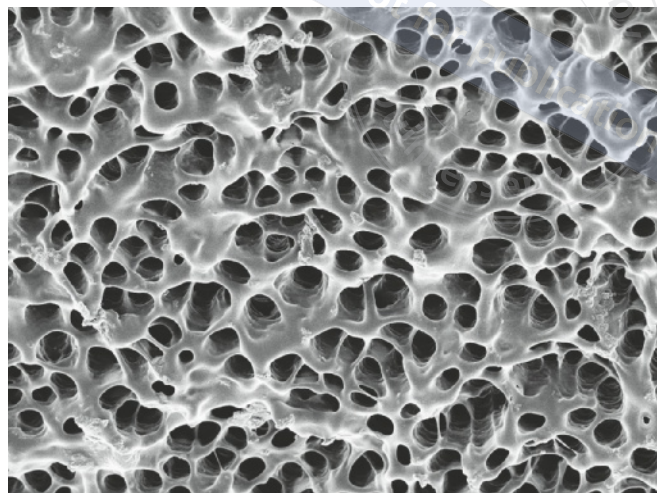


Abb. 6 Freigelegte Dentintubuli nach Entfernung der Schmierschicht (2.000-fache Vergrößerung).

Chlorhexidindigluconat

Chlorhexidin (CHX) wird in 2%iger Konzentration als Spüllösung oder als gelförmige intrakanaläre Einlage verwendet. CHX besitzt ein breites antimikrobielles Spektrum, wobei es eine bessere Wirksamkeit gegen grampositive Kokken als gegen gramnegative Bakterien und Hefepilze aufweist. Aufgrund der kationischen Struktur lagert sich CHX an das Hydroxylapatit des Dentins an und verfügt somit über eine hohe Substantivität, d. h. eine prolongierte Wirkung über mehrere Wochen. Die Mehrzahl der klinischen Studien belegt allerdings keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der antimikrobiellen Effektivität von CHX und NaOCl¹⁵. Aufgrund der fehlenden gewebeauflösenden Wirkung stellt CHX keine Alternative zu NaOCl als Standardspülflüssigkeit dar.

Darüber hinaus wurde nach CHX-Spülung eine Umstrukturierung des Biofilmes mit Veränderung der viskoelastischen Eigenschaften festgestellt, die in einer schlechteren Entfernbareit des Biofilmes mithilfe von Spülflüssigkeiten resultiert².

Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass eine Mischung von CHX und NaOCl unabhängig von der Konzentration und der Menge beider Flüssigkeiten zur Bildung eines rotbraunen Präzipitates führt (Abb. 5). Ob und in welcher Menge bei dieser Reaktion das im Tierversuch kanzerogen wirkende

Parachloranilin entsteht, ist bislang nicht abschließend geklärt. Das Präzipitat verursacht jedoch in jedem Fall irreversible Zahnverfärbungen und reduziert die Permeabilität der Dentintubuli. Es ist fraglich, ob Zwischenspülungen mit Alkohol oder einem Chelator die Bildung dieses Präzipitates vollständig verhindern können¹⁰. Aufgrund dieser verschiedenen Aspekte wird die Verwendung von CHX in der Endodontologie mittlerweile angezweifelt, sodass es in aktuellen Spülprotokollen nicht oder nur noch mit Zurückhaltung empfohlen wird^{2,11}.

Chelatoren

Chelatoren wie Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) und Zitronensäure sind in der Lage, mit den Calciumionen des Dentins stabile Komplexe zu bilden und somit die anorganischen Bestandteile der Schmierschicht aufzulösen. Dabei wird EDTA in einer Konzentration von 17 % verwendet, während Zitronensäure in 10%iger Konzentration empfohlen wird. In Kombination mit NaOCl wird die Schmierschicht bereits durch eine einminütige Spülung mit EDTA oder Zitronensäure entfernt und die Dentintubuli freigelegt (Abb. 6), wodurch die antimikrobielle Wirkung desinfizierender Substanzen in tieferen Dentinschichten gesteigert wird. Obwohl Chelatoren keine nennenswerten antimikrobiellen Eigenschaften aufweisen, schwächen sie aufgrund ihrer calciumbindenden Fähigkeit die Biofilmmatrix

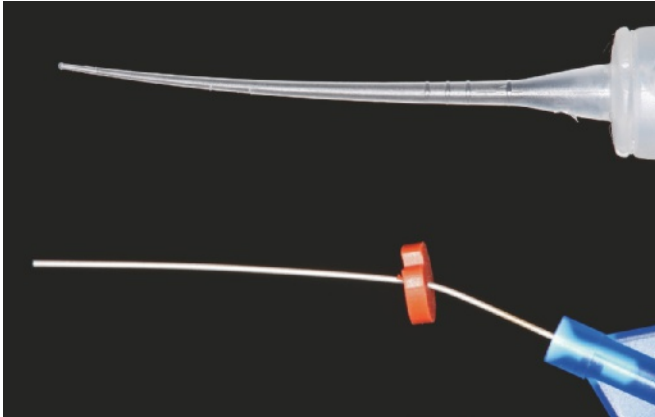


Abb. 7 Flexible Spülkanülen aus Polypropylen mit seitlicher Öffnung (oben: IrriFlex, Fa. Produits Dentaires SA, Vevey, Schweiz) und Edelstahl mit apikaler Öffnung (unten: NaviTip, Fa. Ultradent Products, South Jordan, UT, USA). Die Insertionstiefe wird entweder mit Längsmarkierungen oder Stopper kontrolliert, wobei Kanülen mit seitlicher Öffnung auf eine Arbeitslänge (AL) von 1 mm und apikal offene Kanülen auf eine AL von 3 mm inseriert werden sollten.

und tragen somit zur Desintegration und Auflösung des Biofilmes bei.

Die erneute Anwendung von NaOCl nach der Spülung mit EDTA sollte vermieden oder auf maximal 30 Sek. beschränkt werden, um ausgedehnte Erosionen des Wurzelkanal Dentins zu vermeiden. Da EDTA das die Kollagenfasern umgebende Hydroxylapatit bindet, führt eine abschließende Spülung mit NaOCl zu einer ausgeprägten Demineralisation und Schädigung des exponierten Kollagens¹³. Es ist nicht auszuschließen, dass die damit verbundene Schwächung des Dentins zu einer gesteigerten Frakturanfälligkeit des Zahnes beiträgt.

Da Chelatoren bei Mischung mit NaOCl die gewebeauflösende und antibakterielle Wirksamkeit des NaOCl nahezu vollständig inhibieren, sollten die Spüllösungen nicht abwechselnd verwendet werden. Vielmehr werden Chelatoren nach der Präparation als Abschlusspülung angewendet, um die anorganischen Anteile der Schmierschicht zu entfernen.

Aktivierung der Spülflüssigkeiten

In der Regel werden Spüllösungen manuell mithilfe einer Spritze und einer Kanüle appliziert. Abhängig vom Design der Spülkanüle (seitlich oder apikal offen) ist jedoch der effektive Austausch der Spülflüssigkeit auf 1 bis 3 mm nach Austritt aus der Kanüle limitiert. Für eine effektive Desinfektion des Apikalbereiches sollten daher möglichst dünne Spülkanülen mit einem Außendurchmesser von 0,3 mm (IrriFlex, Fa. Produits Dentaires SA, Vevey, Schweiz; NaviTip, Fa. Ultradent Products, South Jordan, UT,

USA) verwendet werden (Abb. 7). Diese Kanülen können auch in gekrümmten Kanälen – apikale Präparationsgrößen von 25/.08, 30/.06 oder 40/.02 vorausgesetzt – ohne Friktion bis auf eine Arbeitslänge –1 bis –3 mm inseriert werden, um somit das Extrusionsrisiko der Spülflüssigkeit zu minimieren.

Die manuelle Spültechnik weist jedoch einige Limitationen im Hinblick auf die mechanische Effektivität auf. Dazu zählen beispielsweise eine vergleichsweise niedrige Fließgeschwindigkeit mit zu geringen Scherkräften, die ein Ablösen des Biofilmes von der Kanalwand und das Herausspülen von Debris erschweren. Weiterhin findet nur eine unzureichende Penetration der Spüllösung in schwer zugängliche Bereiche wie Isthmen, Irregularitäten und Ramifikationen statt. Aus diesem Grund stehen verschiedene Techniken für die Aktivierung von Spüllösungen zur Verfügung, die akustische Mikroströmungen und somit höhere Scherkräfte innerhalb der Flüssigkeit erzeugen. Daraus resultieren höhere Strömungsgeschwindigkeiten als bei der Handspülung, welche die Reinigung und Desinfektion besonders in mechanisch nicht zugänglichen Bereichen verbessern.

Die Aktivierung der Spülflüssigkeit kann nach Abschluss der Präparation u. a. mit schallaktivierten Instrumenten (EndoActivator, Fa. Dentsply Sirona, Bensheim; EDDY, Fa. VDW, München), Systemen mit Unterdruck (EndoVac, Fa. Kerr, Rastatt), Er:YAG-Lasern („Photon initiated photoacoustic streaming, PIPS) sowie ultraschallaktivierten Instrumenten (EndoUltra, Fa. Coltene, Altstätten, Schweiz; VDW, Ultra, Fa. VDW) durchgeführt werden. Nachfolgend wird die schall-, ultraschall- und lasergestützte Aktivierung kurz beschrieben und bewertet.

Schallaktivierung

Der EndoActivator ist ein batteriebetriebenes Handstück, das Polymerspitzen unterschiedlicher Größe (15/02, 25/04, 35/04) mit Frequenzen im Schallbereich von 33 bis 166 Hz und einer Amplitude der Spitze von ca. 1 mm in Schwingung versetzt.

Der EDDY ist ebenfalls eine schallaktivierte Instrumentenspitze aus Polyamid, die mit einem Airscaler und Frequenzen von bis zu 6.000 Hz sowie einer Amplitude von ca. 350 µm betrieben wird (Abb. 8). Da die EDDY-Spitze eine Größe von 25/04 aufweist, wird für eine ungehinderte Schwingung eine minimale Präparationsgröße des Wurzelkanals von 25/06 empfohlen. Beide Systeme haben den Vorteil, dass die im Vergleich zum Dentin weicheren Polymerspitzen keine Stufenbildungen verursachen. Die Reinigungswirkung der schallaktivierten Spülung wird im Vergleich zur Handspülung als überlegen beurteilt. In-vitro-Studien belegen eine vergleichbare oder sogar gesteigerte antimikrobielle Wirksamkeit der schallgestützten Aktivierung im Vergleich zur Handspülung¹. Insgesamt kann die Effektivität der Schallaktivierung mit dem EDDY-Ansatz aufgrund der deutlich höheren Frequenz im Vergleich zum EndoActivator als überlegen eingeschätzt und als gleichwertige Alternative zur ultraschallgestützten Aktivierung eingeordnet werden¹.

Ultraschallaktivierung

Eine Ultraschallaktivierung der Spülflüssigkeit erfolgt mit dünnen K-Feilen oder nichtschneidenden Instrumenten, z. B. IRRI K oder IRRI S, Fa. VDW der Größen 15 bis 20, die mit Frequenzen von 25 bis 40 kHz und einer Amplitude von ca. 100 µm in Schwingung versetzt werden (Abb. 9). Das Instrument wird dabei in den präparierten Wurzelkanal bis auf eine Arbeitslänge von –2 bis –3 mm inseriert. Ein Wandkontakt der Instrumentenspitze sollte unbedingt vermieden werden, um das Risiko von Stufenbildungen im Dentin zu reduzieren. Darüber hinaus führt eine Dämpfung der Schwingungen zu einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit der Spüllösung mit reduzierter Reinigungswirkung. Aufgrund der Ausbildung von Kavitationseffekten und Mikroströmungen wurde vielfach eine gesteigerte Reinigungswirkung der ultraschallaktivierten Spü-



Abb. 8 Mikroströmungen in der Spülflüssigkeit durch Schallaktivierung (EDDY, Fa. VDW, München).

Abb. 9 Ultraschallaktivierung mit einem glatten Instrument der Größe 20/02 (EndoUltra, Fa. Coltene, Altstätten, Schweiz).



lung im Vergleich zur Handspülung nachgewiesen⁴. Klinische Daten zur Überlegenheit der Ultraschallaktivierung im Hinblick auf eine verbesserte Heilung periapikaler Läsionen stehen weiterhin aus⁴.

Im Hinblick auf die Entstehung postoperativer Beschwerden belegt eine aktuelle Metaanalyse einen signifikanten Vorteil maschineller Systeme (Schall, Ultraschall, Unterdruck) für die Aktivierung der Spülflüssigkeit im Vergleich zur konventionellen Handspülung⁵.

Laseraktivierung (PIPS)

Im Gegensatz zu der in den 1990er-Jahren beschriebenen Anwendung von Nd:YAG-Lasern im trockenen Wurzelkanal, die aufgrund fehlender Evidenz hinsichtlich der antibakteriellen Wirksamkeit sowie u. a. der Gefahr thermischer Schädigungen des Zahnhalteapparates nicht zu empfehlen ist, wird bei der PIPS-Technik (Fotona Lightwalker, Fa. Fotona, Ljubljana, Slowenien) die Spülflüssigkeit im Kanal aktiviert. Hierfür werden Er:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 2.940 nm verwendet, da diese

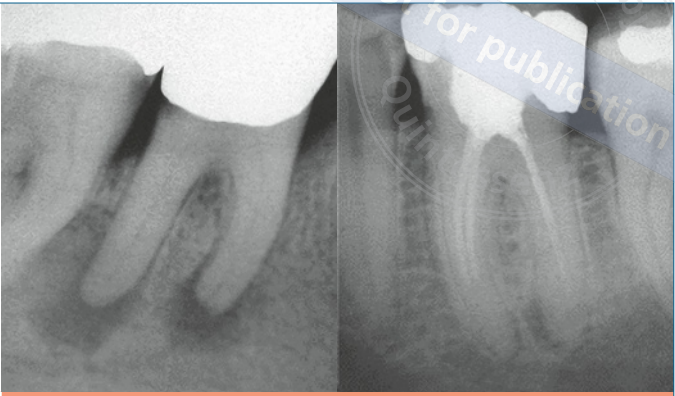
		
	nicht infiziert	infiziert
Trepanation Präparation	NaOCl	
nach Präparation	NaOCl + Schall-/Ultraschallaktivierung 3 x 20 Sek. pro Kanal	
		Einwirkzeit ↑ Volumen ↑
	Chelator (Kontaktzeit max. 60 Sek.)	
Abschlussspülung		NaOCl (Kontaktzeit max. 30 Sek.)

Abb. 10 Spülprotokoll in Abhängigkeit der mikrobiologischen Ausgangssituation. Zur Vermeidung von Dentinerosionen sollte bei vitalem Gewebe im Anschluss an den Chelator kein Natriumhypochlorit (NaOCl) verwendet werden, da die Desinfektion hier nicht notwendig ist.

Strahlung in einem für NaOCl und EDTA optimalen Absorptionsmaximum liegt. Die Laserenergie wird dabei mit einer Spitze, die in das mit Flüssigkeit gefüllte Pulpakavum inseriert ist, und einer Pulsdauer von 50 µ-Sek. direkt auf die Spüllösung übertragen. Die verwendeten Einstellungen (Energie: 20 mJ, Frequenz: 15 Hz) erzeugen eine Leistung von lediglich 0,3 Watt, sodass thermische Schädigungen des Dentins und des Parodonts ausgeschlossen sind⁶. Das schlagartige Erhitzen des NaOCl über den Siedepunkt hinaus führt zur Entstehung einer sich ausdehnende Dampfblase, durch deren Implosion fotoakustische Schockwellen und Kavitationsprozesse innerhalb der Spülflüssigkeit entstehen, die mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten einhergehen.

Die bislang vorliegenden In-vitro-Studien bescheinigen der PIPS-Technik eine im Vergleich zur

Handspülung signifikant bessere Reinigungswirkung⁸. Im Hinblick auf die Bakterienreduktion und die Entfernung des Biofilmes zeigt die laseraktivierte Spülung gute Ergebnisse¹². Eine eindeutige Überlegenheit im Vergleich zu anderen Aktivierungsmethoden ist bisher allerdings nicht nachgewiesen. Aufgrund der sehr hohen Anschaffungskosten und dem Fehlen klinischer Daten zur verbesserten Erfolgsquote nach PIPS-Aktivierung steht eine abschließende Bewertung dieser Technik zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch aus.

Spülprotokoll

Ein optimales Spülkonzept richtet sich nach dem mikrobiologischen Ausgangsbefund, wobei v. a. zwischen nichtinfizierten und infizierten Wurzelkanalsystemen differenziert werden muss (Abb. 10).

Literatur

1. Bitter K, Hülsmann M. Die schallaktivierte Wurzelkanal-desinfektion – Literaturübersicht. *Endodontie* 2020;29:259–271.
2. Busanello FH, Petridis X, So MVR et al. Chemical biofilm removal capacity of endodontic irrigants as a function of biofilm structure: Optical coherence tomography, confocal microscopy and viscoelasticity determination as integrated assessment tools. *Int Endod J* 2019;52:461–474.
3. Byström A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J* 1985;18:35–40.
4. Caputa PE, Retsas A, Kuijk L et al. Ultrasonic irrigant activation during root canal treatment: A systematic review. *J Endod* 2019;45: 31–44.e13.
5. Decurcio DA, Rossi-Fedele G, Estrela C et al. Machine-assisted agitation reduces postoperative pain during root canal treatment: A systematic review and meta-analysis from randomized clinical trials. *J Endod* 2019;45: 387–393.e2.
6. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci* 2012;27:273–280.
7. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;20:340–349.
8. Lloyd A, Uhles JP, Clement DJ et al. Elimination of intracanal tissue and debris through a novel laser-activated system assessed using high-resolution micro-computed tomography: A pilot study. *J Endod* 2014;40:584–587.
9. Mergoni G, Percudani D, Lodi G et al. Prevalence of candida species in endodontic infections: Systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2018;44: 1616–1625.e9.
10. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM et al. The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. *Int Endod J* 2012;45:878–882.
11. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: Part 1: Periapical health. *Int Endod J* 2011;44:583–609.
12. Peters OA, Bardsley S, Fong J et al. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endod* 2011;37: 1008–1012.
13. Qian W, Shen Y, Haapasalo M. Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *J Endod* 2011;37:1437–1441.
14. Rôças IN, Siqueira JF. Characterization of microbiota of root canal-treated teeth with posttreatment disease. *J Clin Microbiol* 2012;50:1721–1724.
15. Ruksakiet K, Hanák L, Farkas N et al. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and sodium hypochlorite in root canal disinfection: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Endod* 2020; 46:1032–1041.e7.
16. Sousa-Neto MD de, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF et al. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: A literature review. *Braz Oral Res* 2018; 32:e66.
17. Verma N, Sangwan P, Tewari S et al. Effect of different concentrations of sodium hypochlorite on outcome of primary root canal treatment: A randomized controlled trial. *J Endod* 2019;45:357–363.
18. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics – A review. *Int Endod J* 2010;43: 2–15.
19. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389–398.



Tina Rödиг

Prof. Dr. med. dent.

E-Mail:

troedig@med.uni-goettingen.de

*Poliklinik für Präventive
Zahnmedizin, Parodontologie und
Kariologie
Universitätsmedizin Göttingen
Robert-Koch-Straße 40
37075 Göttingen*