

Wurzelkanal- füllmaterialien

E. Schäfer

Poliklinik für Zahnerhaltung (Direktor: Prof. Dr. K. Ott),
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Gemeinsame Publikation mit der Deutschen Zahnärztlichen
Zeitschrift

Schlüsselwörter: Wurzelkanalfüllung, Guttaperchastifte,
Biokompatibilität, Zellschädigung, Wanddichtigkeit,
Epoxidharz, Zinkoxid-Eugenol

Korrespondenzadresse:
Priv.-Doz. Dr. E. Schäfer
Poliklinik für Zahnerhaltung
Waldeyerstr. 30, D-48149 Münster (11968)

Nach der Reinigung und Formgebung des Wurzelkanalsystems muss dieser Hohlraum dauerhaft hermetisch und bakteriendicht verschlossen werden, um eine Penetration von Mikroorganismen und bakteriellen Toxinen in das endodontische System zu verhindern. Hierzu sind in erster Linie WF-Pasten in Kombination mit speziellen Kernmaterialien geeignet. Diese Materialien dürfen, um einen undurchlässigen Verschluss des Wurzelkanalsystems zu gewährleisten, nicht resorbierbar sein und müssen eine gute Gewebeverträglichkeit aufweisen, damit sie im Bereich des Übergangs von der Wurzelkanalfüllung zum periapikalem Gewebe als Wundverband fungieren können. Mit den derzeit vorliegenden Wurzelkanalfüllmaterialien können diese Forderungen weitestgehend erfüllt werden.

(Texte français voir page 862)

1 Einleitung

Ziel einer Wurzelkanalfüllung (WF) ist es, das gesamte Wurzelkanalsystem dauerhaft hermetisch und biokompatibel zu verschliessen, um die Passage von Flüssigkeiten und Mikroorganismen im Wurzelkanal von apikal und von koronal zu verhindern [53, 60, 166].

Das weltweit gebräuchlichste und bekannteste WF-Material ist Guttapercha. Sie ist jedoch alleine nicht in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft dicht zu verschliessen. TAGGER et al. [152] sowie SKINNER & HIMEL [143] haben nachgewiesen, dass unabhängig von der Verarbeitungstechnik der Guttapercha (Einzelstift, warme und kalte laterale oder vertikale Kondensation sowie verschiedene thermoplastische Verfahren) ohne die Anwendung einer Wurzelkanalfüllpaste (WF-Paste = Sealer) stets unzureichend abgedichtete Wurzelkanalbereiche zu beobachten waren. Gleichzeitig sind WF-Pasten als alleiniges WF-Material bislang ebenfalls nicht in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft bakteriendicht und hermetisch auszufüllen [67, 166], da fast alle WF-Pasten, insbesondere bei grösserem Volumen,

kontrahieren und somit eine ungenügende Wanddichtigkeit resultiert [25, 174].

Demzufolge sollte eine WF hauptsächlich aus einem volumenstabilen Kernmaterial in Form eines (oder mehrerer) WF-Stifte(s) und einer erhärtenden WF-Paste bestehen, wobei letzterer lediglich die Aufgabe zukommt, die Inkongruenzen zwischen der Form der Wurzelkanalwand und jener des Kernmaterials volumenstabil auszufüllen [53, 60, 67, 158, 162, 166].

Weichbleibende WF-Pasten sind zum definitiven Verschluss eines Wurzelkanals weder alleine noch in Kombination mit einem oder mehreren WF-Stiften geeignet, weil diese Pasten löslich sind und von vitalem Gewebe resorbiert werden [112, 166], was eine Reinfektion des Wurzelkanalsystems ermöglicht.

Grundsätzlich wirken alle WF-Pasten bei direktem Kontakt mit Nervengewebe mehr oder weniger stark ausgeprägt neurotoxisch [45, 158, 166]. Im Rahmen der endodontischen Behandlung stellt die Überfüllung von WF-Materialien in den Mandibularkanal die häufigste Ursache von Nervenschäden dar [82]. Zur Vermeidung und rechtzeitiger Erkennung derartiger, unter forensischen Aspekten relevanter Komplikationen sind die ex-



Abb. 1 Massive Überfüllung einer WF-Paste in den Canalis mandibularis

Fig. 1 Important surplus de pâte OC dans le canal mandibulaire

akte Bestimmung und Dokumentation der Arbeitslänge vor der Wurzelkanalaufbereitung sowie die röntgenologische Kontrolle nach der WF von entscheidender Bedeutung (Abb. 1). Auf die neurotoxische Wirkung der verschiedenen WF-Pasten wird im Weiteren jeweils gesondert eingegangen.

Neben der Auswahl geeigneter WF-Materialien und einer adäquaten WF-Technik ist die post-endodontische Versorgung jedes wurzelkanalgefüllten Zahnes von ausserordentlicher Bedeutung [23, 170]. SAUNDERS und SAUNDERS haben in einer Übersicht auf die Wichtigkeit einer bakteriendichten temporären wie auch permanenten Versorgung eines Zahnes nach WF hingewiesen, um eine Reinfektion des gefüllten Wurzelkanals wirkungsvoll zu verhindern [Übersicht bei 131]. Neben dieser Prävention einer Bakterienpenetration in das Wurzelkanalsystem, welche die gesamte endodontische Therapie gefährden kann [170], sollte auch unter dem Aspekt der Frakturprophylaxe möglichst bald nach der WF eine die Zahnhartsubstanz stabilisierende Restauration des wurzelkanalbehandelten Zahnes erfolgen.

2 Erhärtende Wurzelkanalfüllpasten

2.1 WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis

Diese Pasten werden als Zweikomponenten-Präparate angeboten (Tab. 1), die nach Vermischen von Pulver und Flüssigkeit durch Bildung eines wenig widerstandsfähigen, porösen Zinkeugenolates ($[C_{10}H_{11}O_2]_2Zn$) erhärten [169]. Überschüssiges, freies Eugenol (2-Allyl-2-Methoxyphenol) liegt auch bei sachgerechter Anmischung stets an das Eugenolat sowie an Zinkoxid gebunden vor und kann dadurch das Zinkeugenolat in seiner Integrität schwächen [144]. Wie von mehreren Autoren ferner nachgewiesen wurde, ist dieses Eugenolat in Gewebeflüssigkeit löslich [39, 112, 169], sodass diese WF-Pasten ausschliesslich in Kombination mit einem (halb-)festen Kernmaterial zur Anwendung gelangen dürfen [166]. Unter diesen Bedingungen weisen sie gute klinische Ergebnisse auf und sind in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft randständig zu verschliessen [111, 113, 156, 157, 162].

Im direkten Zellkontakt erwies sich Eugenol in In-vitro-Versuchen als genotoxisch [45] sowie als zytotoxisch auf verschiedene humane und tierische Zellen [43, 52, 76]. Auf humane Gingi-

vafibroblasten ist eine zytotoxische Wirkung bis zu einer Eugenol-Konzentration von $<1,9 \mu M$ nachweisbar [43]. Dieser Effekt ist zeitabhängig, wobei die nach dem Anmischen derartiger WF-Pasten festzustellende initiale Zytotoxizität kontinuierlich abnimmt [43]. HUME [69] zeigte, dass Eugenol bis zu einer Konzentration von $10^{-4} M$ die Zellatmung von menschlichen Pulpa-zellen sowie Mäusefibroblasten hemmt. KLAIBER et al. [76] haben aber darauf hingewiesen, dass derartige In-vitro-Untersuchungen keine direkten Rückschlüsse auf die In-vivo-Anwendung von WF-Pasten erlauben.

In Implantationstests entfalteten WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis geringgradige bis schwere zytotoxische Wirkungen [99, 118], welche indes nach einem Zeitraum von 3 Monaten nicht mehr nachweisbar waren [99].

Mutagene Effekte konnten für diese WF-Pasten im Ames-Test nicht nachgewiesen werden [45, 110]. Ein Zusammenhang zwischen der Anwendung der WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis und karzinogenen, mutagenen und reproduktionstoxischen Effekten wurde bislang nicht nachgewiesen [110].

Gelangen WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis in das periradikuläre Gewebe, so werden sie teilweise resorbiert, was in histologischen Untersuchungen anhand von phagozytierten Materialpartikeln nachgewiesen wurde, sowie bindegewebig abgekapselt [156, 157]. Bei massiver Überfüllung dieses Materials in das periapikale Gewebe kann es aufgrund der temporären toxischen Wirkung des Eugenols auf das periapikale Gewebe zu einer negativen Beeinflussung des Heilungsverlaufs [100, 111] bis hin zu Nekrosen des Desmodonts oder des Knochens kommen [31, 90]. Eine geringgradige Irritation des periapikalen Gewebes bei Überfüllung mit diesen WF-Pasten wird neben dem Eugenol auch dem Zinkoxid zugesprochen [97, 111].

Insbesondere bei Überfüllung von WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis in das periapikale Gewebe ist das neurotoxische Potenzial des Eugenols von Bedeutung [27, 85], welches vor allem bei räumlicher Nähe zum Canalis mandibularis zu Sensibilitätsstörungen bis hin zu irreversibler Hemmung der Nervaktivität führen kann [17]. Darüber hinaus liegen einige klinische Hinweise darauf vor, dass WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis nach Überfüllung im Oberkiefer-Seitenzahnbereich die Entstehung einer Aspergillose in der Kieferhöhle fördern können, da dem in diesen WF-Pasten enthaltenen Zinkoxid grosse Bedeutung für das Wachstum eines Aspergilloms in der Kieferhöhle zugesprochen wird [7, 78, Übersicht bei 79].

Wie Einzelfallbeschreibungen belegen, kann in WF-Pasten enthaltenes Eugenol sogar in kleinen Mengen als Allergen eine Kontakturtikaria hervorrufen und unterhalten [5, 50]. In sehr seltenen Fällen muss somit mit einer möglichen Kontaktallergie gegen Bestandteile dieser WF-Pasten gerechnet werden. Bei Kenntnis des Vorliegens einer Allergie gegen Eugenol oder Perubalsam, welche bei etwa 4% der Bevölkerung vorliegt [79], sollte daher auf eine WF-Paste ausgewichen werden, die diese Bestandteile nicht enthält. Andere durch WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis verursachte systemische Nebenwirkungen sind bislang nicht bekannt geworden.

2.2 WF-Pasten auf Epoxidharz-Basis

SCHROEDER stellte im Jahre 1954 den ersten Vertreter aus dieser Gruppe der WF-Pasten vor, das AH26 [133]. Diese WF-Pasten (Tab.1) weisen ein sehr gutes Abdichtungsvermögen und eine gute Volumenbeständigkeit auf [44, 53], wobei AH26 beim Abbinden eine Initialexpansion zeigt [168]. Bei sachgerechter Anwendung entfalten sie kaum irritierende Wirkungen auf das periapikale Gewebe. In einer prospektiven Studie an insgesamt

Tab. 1 Auswahl einiger Produkte aus den verschiedenen Gruppen erhärtender WF-Pasten sowie deren prozentuale Zusammensetzung, soweit von den Herstellern deklariert und somit bekannt

Basis	Präparate und Hersteller	Zusammensetzung	
		Komponente A	Komponente B
Zinkoxid-Eugenol	Aptal-Harz (Speiko, Münster) Zusammensetzung nach [156]	ZnO 60% Silber 10% Thymol 2% p-Chlor-m-Kresol 1%	Eugenol 60% Perubalsam 40%
	Hermetic (Lege Artis, Dettenhausen)	ZnO 60% Zirkonoxid 30% Zinkacetat 2%	Eugenol 89% Perubalsam 11%
Epoxidharz	AH26 (DeTrey Dentsply, Konstanz) Zusammensetzung nach [45]	Wismut-(III)-oxid 60% Hexamethylentetramin 25% Silber 25% Titandioxid 5%	Bisphenol-A-diglycidylether 100%
	AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)	Epoxybisphenol Kalziumwolframat Zirkonoxid	Amino-Adamantan N,N-Dibenzyl-5-oxanonan Kalziumwolframat Zirkonoxid
Methakrylat	Hydron (Hydron Canada)	2-Hydroxyethylmethakrylat	
Polyketon	Diaket (Espe, Seefeld) Zusammensetzung nach [17]	Wismutphosphat 3% ZnO 97%	Dichlorophen 0,5% Triethanolamin 0,2% Vinyl-Kopolymer 23,3% Propionylacetophenon 76%
	Kalziumsalicylat	Apexit (Vivadent, Ellwangen) Zusammensetzung nach [45]	Kalziumhydroxid 32% Kolophoniumhydrat 31,5% SiO ₂ 8% CaO 5,6% ZnO 5,5% Trikalziumphosphat 4% Polydimethylsiloxan 2,5% Zinkstearat 2,3%
Sealapex (Kerr, Karlsruhe) Zusammensetzung nach [45]		Kalziumhydroxid 25% ZnO 6,5%	Polymethylensalicylat 33% Bariumsulfat 19% Titandioxid 5%
Glasionomer-Zement	Ketac-Endo (Espe, Seefeld)	Kalzium-Lanthan-Natrium Fluorophosphor-Aluminium- Silikat	Polyacrylsäure Weinsäure
	Endion (Voco, Cuxhaven)	Fluorosilikatglas 22% Polyacrylsäure 10% Kontrastmittel 63%	Wasser 100%
Guttapercha	Kloroperka N-O (N-O Therapeutics, Oslo, Norwegen) Zusammensetzung nach [17, 111]	Guttapercha 19,6% Kanada-Balsam 17% Kolophonium 14% ZnO 49,4%	Chloroform 100%
Medikamentenzusätze Paraformaldehyd	N2 Normal / Universal (Hager & Werken, Duisburg) Zusammensetzung nach [45]	ZnO 63% Wismutnitrat 15% Wismutkarbonat 10% Paraformaldehyd 7% Titandioxid 3,6%	Eugenol 77% Erdnussöl 20% Rosenöl 1,8% Lavendelöl 1,2%
Kortikosteroide	Endomethasone N (Pharma-Dental, Bonn)	Hydrocortisonacetat 1% Dijodthymol 25% Bariumsulfat 15% ZnO 49% Magnesiumstearat 10%	Eugenol 91%

810 gefüllten Wurzeln wiesen nach einem Jahr jene mit AH26 als WF-Paste den besten Zustand des periapikalen Gewebes auf, gemessen am Periapikal-Index (PAI) [111].

AH26, ein älteres Epoxidharz, enthält Hexamethylentetramin (Methenamin=1,3,5,7-Tetraaza-adamantan (CH₂)₆N₄ [3]), welches beim Einengen von Formaldehyd und Ammoniak entsteht [31]. Im saurem Milieu wird aus Hexamethylentetramin Formaldehyd abgespalten [3]. AH26 setzt unmittelbar nach dem Anmischen eine zeitlich begrenzte, äusserst geringe Menge von Formaldehyd frei, mit einem Maximum am zweiten Tag nach

dem Anmischen [145]. Diese Formaldehydfreisetzung ist später auch mit feinsten Analyseverfahren nicht mehr nachweisbar. Die freigesetzte Menge an Formaldehyd ist etwa 300- bis 1000-fach geringer im Vergleich zu WF-Pasten mit Paraformaldehydzusatz, wie z.B. N2 [145].

Aufgrund der Formaldehydfreisetzung während der Abbinde-reaktion von AH26 ist an Rattenpulpezellen nach mehrtägiger Applikation eine geringgradige Hemmung der zellulären DNA-Synthese nachzuweisen [95]. Auch andere Studien berichteten über zytotoxische Reaktionen von AH26 an Rattenknochenzellen

[154], menschlichen Karzinomzellen [105], humanen Gingivafibroblasten [15, 76] sowie an Mäusefibroblasten und Rattenpulpezellen [90]. Ferner zeigte diese WF-Paste bei Implantationsversuchen initial eine Zytotoxizität, welche nach einigen Wochen deutlich abnahm und kaum noch nachweisbar war [122].

Mutagene Effekte wurden im Ames-Test an *Salmonella typhimurium* festgestellt, was von den Autoren auf den Gehalt von Bisphenol-A-diglycidylether (Tab. 1) sowie auf die zeitlich begrenzte Freisetzung von Paraformaldehyd während der Abbindereaktion dieser WF-Paste zurückgeführt wurde [32, 110, 135]. Im abgebundenen Zustand sind Epoxidharze als biologisch weitgehend inert zu bewerten [14, 23, 45, 145, 161].

Im direkten Kontakt zum N. phrenicus der Ratte zeigte AH26 nach einer Kontaktzeit von 30 Minuten eine partielle Hemmung der Aktionspotenziale [17]. Diese neurotoxische Wirkung hatte teilweise bleibende Schädigungen der Nervenfunktion zur Folge [17].

Als äusserst seltener Zwischenfall bei der Anwendung von AH26 finden sich in der Literatur Hinweise auf Kontaktallergien gegen Bestandteile dieser WF-Paste auf Epoxid-Basis [64]. Es wurde berichtet, dass es nach der intrakanalären Applikation von AH26 bei einem Patienten zu einem Erythem im Bereich des Gesichts und des Nackens gekommen ist. Durch einen Epikutantest wurde der Verdacht einer allergischen Kontaktsensibilisierung gegen Bestandteile der WF-Paste AH26 bestätigt [65].

Weitere systemische Nebenwirkungen sind bislang nicht bekannt geworden. Da bei dem älteren Epoxidharz, AH26, nur während einer kurzen Dauer mit einer messbaren Formaldehydfreisetzung zu rechnen ist, ist auch bei einem späteren Nachweis einer Formaldehydallergie in der Regel die Entfernung der WF-Paste nicht erforderlich [81, 150].

Bei Kenntnis des Vorliegens einer Formaldehydallergie kann auf ein, unter physikalischen und werkstoffkundlichen Aspekten gleichwertiges Nachfolgeprodukt, AHPlus, ausgewichen werden. Dieses setzt zu keinem Zeitpunkt Formaldehyd frei [84], weil der für die Formaldehyd-Freisetzung verantwortliche Inhaltsstoff des AH26, Hexamethylentetramin, im AHPlus nicht mehr enthalten ist [166]. AHPlus wies in verschiedenen In-vitro-Tests keinerlei genotoxische oder mutagene Effekte auf [92]. In einer klinischen Studie wurden lediglich 4 von 58 mit AHPlus mittels lateraler Kondensation gefüllter Zähne nach einem Jahr als Misserfolg eingestuft [1]. Im Vergleich zur WF-Paste Sealapex ergaben sich damit keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der klinischen Misserfolgshäufigkeit nach einem Jahr [1]. Auch in einer In-vivo-Untersuchung an Hundezähnen wurden für AHPlus sehr gute Ergebnisse beobachtet, indem nach 90 Tagen bei der histologischen Untersuchung des periapikalen Gewebes nach WF mit AHPlus weder entzündliche Infiltrate noch Zonen einer Nekrose gefunden wurden [90]. Somit kann AHPlus hinsichtlich seiner Biokompatibilität als verbessertes Produkt im Vergleich zu AH26 angesehen werden [90, 92].

Insgesamt sind WF-Pasten auf Epoxidharz-Basis als empfehlenswert einzustufen [53, 145].

2.3 WF-Pasten auf Methakrylat-Basis

Aus dieser Gruppe liegt derzeit nur eine WF-Paste vor (Tab.1), das Hydron (2-Hydroxyethylmethakrylat). Dieses hydrophile Gel wurde erstmals 1975 von RISING et al. beschrieben [127]. Es polymerisiert innerhalb weniger Minuten auch unter Feuchtigkeitseinfluss [9]. Erhärtet es im feuchten Milieu, so expandiert es unkontrollierbar [155] und bindet inhomogen ab [53]. Demgegenüber schrumpft dieses Material unter trockenen Bedin-

gungen [53]. Zusammen kann dies zur Folge haben, dass bei Anwendung von Hydron eine vergleichsweise wenig randdichte WF resultiert [115]. In einer vergleichenden Studie wiesen die mit Hydron mittels vertikaler Kondensation gefüllten Wurzelkanäle häufiger Undichtigkeiten auf als alle mit anderen WF-Pasten gefüllten Kanäle [115].

Hydron ist teilweise resorbierbar [50], wie anhand von Implantationsversuchen an Ratten [155] sowie mittels histologischer Untersuchungen an Hunden [172] nachgewiesen wurde.

Während einige Autoren Hydron eine gute Gewebeverträglichkeit zusprachen [125, 126], wiesen andere Arbeiten nach, dass Hydron einerseits im Subkutangewebe der Ratte entzündliche Reaktionen erzeugte [53] sowie andererseits im periapikalen Gewebe Entzündungsprozesse verursachte oder unterhalten konnte [87], bis hin zu Resorptionen des periapikalen Knochens [53]. Auch in Zellkulturversuchen zeigte sich eine erhebliche Zytotoxizität dieser WF-Paste, indem frisch angemischtes Hydron eine Hemmung des Zellstoffwechsels um etwa 94% und abgebundenes Hydron um ca. 59% bewirkte [96].

In einer prospektiven klinischen Studie wiesen mit Hydron wurzelkanalgefüllte Zähne nach 5 Jahren einen röntgenologisch als schlechter bewerteten Zustand des periapikalen Gewebes im Vergleich zu mit AH26 gefüllten Wurzeln auf [124]. Ferner wirkt Hydron bei räumlicher Nähe zu Nervenfasern neurotoxisch [121].

Zusammenfassend kann die Anwendung von Hydron nicht empfohlen werden [53, 84].

2.4 WF-Pasten auf Polyketon-Basis

Bei dem einzigen Vertreter dieser Gruppe, der WF-Paste Diaket (Tab.1), welche bereits 1951 erstmals beschrieben wurde [70], härtet eine Mischung aus Vinylpolymerisaten infolge Komplexbildung zu wasserunlöslichen, zyklischen Komplexen aus, welche in einigen organischen Lösungsmitteln löslich sind [23, 39]. Im Zellkulturtest an humanen Gingivafibroblasten [15, 76] und an Pulpezellen der Ratte [95] erwies sich Diaket als zytotoxisch [36] sowie bei Untersuchungen am N. phrenicus der Ratte als neurotoxisch (Abb. 2), wobei die dabei resultierende Hemmung der Aktionspotenziale reversibel war [17]. Hingegen sind die Irritationen des periapikalen Gewebes bei direktem Kontakt zur WF-Paste insgesamt vergleichsweise gering ausgeprägt und klingen nach einigen Wochen vollständig ab [95, 109]. Während und nach der Abbindereaktion zeigt Diaket weder karzinogene noch mutagene Wirkungen [136].

Insgesamt sind die Biokompatibilität, die Volumenbeständigkeit sowie das Abdichtungsverhalten von Diaket allgemein als gut zu bezeichnen [113, 114]. Nachteilig ist demgegenüber die sehr kurze Abbindezeit von lediglich 7 Minuten zu bewerten [166], da Diaket somit für zeitaufwändige WF-Techniken problematisch erscheint. Darüber hinaus wird teilweise die hohe Viskosität der angemischten Paste kritisiert [158]. Ferner kann eine nach der vollständigen Aushärtung von Diaket ggf. notwendige Entfernung der WF-Paste aus dem Wurzelkanal schwierig sein.

2.5 WF-Paste auf Polydimethylsiloxan-Basis

Zu dieser WF-Paste, RSA RoekoSeal Automix, liegen bislang nur sehr wenige In-vitro- und noch keine In-vivo-Studien vor. Erste Berichte zum Abdichtungsverhalten dieser WF-Paste, welche beim Abbinden geringgradig expandiert, deuten auf eine gute Wandständigkeit unter verschiedenen In-vitro-Bedingungen hin, welche jener der WF-Paste AH26 entspricht oder diese sogar übertrifft [29, 30]. Die Autoren weisen aber darauf hin, dass neben dem Aspekt des Abdichtungsverhaltens insbeson-

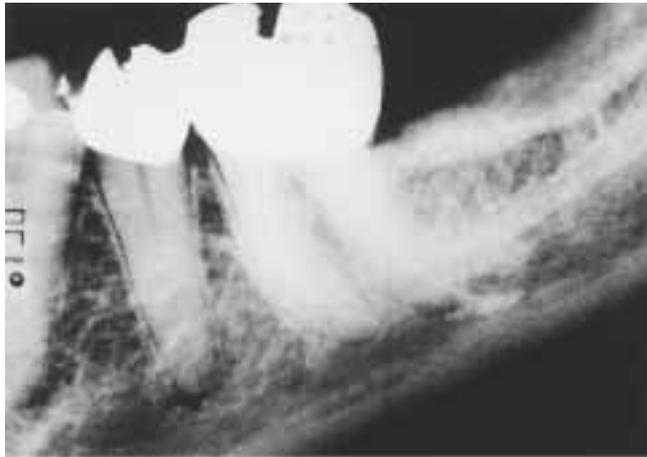


Abb. 2 Überfüllung der WF-Paste Diaket in den Canalis mandibularis, welche erst aufgrund einer vom Patienten wahrgenommenen Parästhesie 2 Tage nach der WF diagnostiziert wurde. Nach operativer Entfernung der WF-Paste aus dem Nervkanal litt der Patient weitere 2 Jahre zunächst an einer Parästhesie und später an einer Hypästhesie des N. alveolaris inferior

Fig. 2 Surplus de pâte OC Diaket dans le canal mandibulaire, qui n'a été diagnostiqué que 2 jours après l'obturation en raison d'une parésie remarquée par le patient. Après le retrait de la pâte OC du canal nerveux, le patient a souffert pendant 2 ans tout d'abord d'une parésie puis d'une hypoesthésie du nerf alvéolaire inférieur.

dere auch Untersuchungen zur Biokompatibilität dieser WF-Paste vorliegen müssen, bevor eine endgültige vergleichende Bewertung erfolgen kann.

Daher können zum derzeitigen Zeitpunkt Empfehlungen zu dieser WF-Paste noch nicht gegeben werden.

2.6 WF-Pasten auf Salicylat-Basis mit Kalziumhydroxid

Diese Pasten (Tab.1) setzen während ihrer Abbindereaktion in Abhängigkeit vom Präparat unterschiedliche Mengen an zytotoxischen, aber keinerlei mutagene Bestandteile frei [45]. So konnte für die WF-Paste Apexit eine genotoxische Wirkung nicht nachgewiesen werden [61].

Mit experimentellen Testmethoden an Rattenpulpazellen konnte nach mehrtägiger Liegedauer unterschiedlicher WF-Pasten dieser Gruppe eine Hemmung der zellulären DNA-Synthese nicht gefunden werden [95]. Verschiedene In-vitro-Studien wiesen eine nur sehr geringe oder sogar gar nicht nachweisbare zytotoxische Wirkung dieser WF-Pasten nach [16, 46, 52, 88, 105]. Hingegen wurden in primären und permanenten Fibroblastenkulturen bei einem Präparat (Sealapex) deutliche zytotoxische Effekte festgestellt [8, 46].

Apexit erwies sich in einer aktuellen Untersuchung als äusserst zellverträglich, indem diese WF-Paste weder im frisch angemischten noch im abgedunstenen Zustand eine nachweisbare Hemmung der Zellproliferation von immunkompetenten T-Zellen bewirkte [14].

Bei direktem Kontakt zum periapikalen Gewebe rufen diese Materialien nur vergleichsweise gering ausgeprägte entzündliche Reaktionen hervor, wie Implantationstests an Ratten ergeben haben [99]. Insofern weisen diese WF-Pasten auf Salicylat-Basis eine gute bis ausgezeichnete Biokompatibilität auf [63]. Kalziumhydroxid-haltige WF-Pasten auf Salicylat-Basis wirken im direkten Kontakt zu Nervengewebe neurotoxisch [34, 140]. Im Vergleich zu beispielsweise WF-Pasten mit Formaldehyd-

Zusatz tritt ihre neurotoxische Wirkung jedoch später ein, ist geringer ausgeprägt und hält nur über einen kürzeren Zeitraum an [140].

Hinsichtlich Dichtigkeit und Volumenbeständigkeit sind Kalziumhydroxid-haltige WF-Pasten auf Salicylat-Basis, insbesondere Apexit, initial als gut zu bewerten [4, 72, 93, 180]. Für einige Vertreter dieser Gruppe steht indes der Nachweis noch aus, dass eine längerfristige direkte Exposition gegenüber Gewebe- und oralen Flüssigkeiten nicht zu Auflösungsprozessen oder Desintegration der WF-Paste führt [160, 170]. So wurde unter In-vitro-Bedingungen nachgewiesen, dass Wurzelkanäle, welche mittels lateraler Kondensation von Guttapercha-Stiften unter Verwendung der WF-Paste Sealapex gefüllt worden waren, bereits nach 60 Tagen in 80% aller Fälle eine vollständige bakterielle Rekontamination aufwiesen [141]. Dies wurde von den Autoren auf die Löslichkeit der WF-Paste in Speichel und Gewebeflüssigkeit zurückgeführt, was die Ausbildung deutlicher Randspalten im Wurzelkanal zur Folge hatte [93, 130, 175]. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch andere Autoren, indem Sealapex übereinstimmend als löslich beurteilt wird [153, 175]. In einer Untersuchung an Kalziumhydroxid-haltigen WF-Pasten wurde nachgewiesen, dass Sealapex in feuchter Umgebung eine volumetrische Expansion von 80–200% zeigte [19]. Die Autoren folgerten, dass die Wasseraufnahme dieser WF-Paste die Löslichkeit und zugleich die Resorbierbarkeit dieses Materials erhöht [19]. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch WRBAS et al. [173], indem in ihren Untersuchungen Sealapex eine Wasseraufnahme nach 14 Tagen von 1,9% zeigte, und damit wesentlich mehr Wasser aufnahm als beispielsweise Diaket mit 0,18%. Auch wurde von den Autoren bei der WF-Paste Sealapex eine erhebliche Expansion während der Wasserlagerung beobachtet [173]. Apexit wird hingegen auch längerfristig ein gutes Abdichtungsverhalten bescheinigt [93], wobei offensichtlich diese WF-Paste im Gegensatz zum Sealapex nicht durch Gewebeflüssigkeit auf- oder angelöst werden kann.

2.7 WF-Pasten auf Glasionomer-Zement-Basis

Bislang sind zwei WF-Pasten auf Glasionomer-Basis auf dem Dentalmarkt erhältlich (Tab.1). Bei diesen wird feinstteiliges Kalzium-Aluminium-Fluoro-Silikatglas mit einer wässrigen Lösung einer Polycarbonsäure vermischt.

Diese WF-Pasten gelten als weitgehend gewebeverträglich [83, 120, 178], wenngleich nach WF mit Ketac-Endo an Hundezähnen nach 270 Tagen in der histologischen Untersuchung des periapikalen Gewebes Zeichen eines gering ausgeprägten, entzündlichen Infiltrats mit einer Reduktion der Fibroblastenzahl festgestellt wurde [89].

Im periapikalen Gewebe werden WF-Pasten auf Glasionomer-Basis nicht resorbiert. Die WF-Paste Ketac-Endo wies in einer vergleichenden Studie nach 14-tägiger Wasserlagerung mit einer mittleren Wasseraufnahme von 4,3% die höchste Wasseraufnahme aller untersuchter WF-Pasten auf [173]. Mutagene oder zytotoxische Effekte der WF-Paste Ketac-Endo konnten bei In-vitro-Tests nicht nachgewiesen werden [32].

Erste Berichte deuten auf ein klinisch akzeptables Abdichtungsverhalten der WF-Paste Ketac-Endo hin [120, 175], welches jenem der WF-Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis weitgehend entspricht [123]. Im Vergleich zur WF-Paste AH26 zeigten mit Ketac-Endo wurzelkanalgefüllte Zähne indes eine signifikant höhere Farbstoffpenetration [6]. In Nachuntersuchungen (6–18 Monate) von mit Ketac-Endo wurzelgefüllten Zähnen ergaben sich gute klinische Ergebnisse [41].

2.8 WF-Pasten auf Guttapercha-Basis

Die Methode, Guttapercha in Chloroform zu lösen, um mit dem so entstehenden Chloropercha eine WF durchzuführen, ist bereits vor über 100 Jahren erstmals beschrieben worden [53]. Schon Black hat diese Methode der WF ausführlich beschrieben [10]. Heute sind diese WF-Techniken als historische Methoden der WF und nicht als moderne, den aktuellen Kenntnissen der Endodontologie entsprechende Verfahren einzustufen.

WF-Pasten auf Guttapercha-Basis (Tab.1) bestehen aus einer Guttaperchalösung in einem organischen Lösungsmittel, wie z.B. Chloropercha (Chloroform), Eucapercha (Eukalyptusöl, dessen Hauptbestandteil Eukalyptol = 1,8-Cineol ist [3]) sowie Xylol (Dimethylbenzol ($C_6H_4[CH_3]_2$), ein Benzolhomolog [3]) [55, 70].

Beim Chloroform (Trichlormethan) sowie beim Xylol besteht der begründete Verdacht auf Kanzerogenität [163]. Insofern ist von einer lokalen Anwendung dieser beiden Lösungsmittel in der Mundhöhle dringend abzuraten. Chloroform, Xylol, wie auch im geringeren Masse Eukalyptusöl, wirken zudem zytotoxisch [76, 102, 103, 114] und im direkten Kontakt zu Nervenfasern neurotoxisch [17].

Im Implantationsversuch zeigten sich bei Chloropercha auch 180 Tage nach Implantation noch akute entzündliche Veränderungen des Gewebes [108]. Mehrere Autoren folgerten aus ihren Untersuchungen, dass Chloroform aus dieser WF-Paste in das umgebende Gewebe abgegeben wird und dort eine persistierende Entzündung verursachen kann [108, 118].

Diese WF-Pasten sind zudem mit dem Nachteil behaftet, dass sie infolge des Verdampfens des Lösungsmittels eine erhebliche Schrumpfung aufweisen [134, 171]. Hinsichtlich ihrer Dichtigkeit und Volumenbeständigkeit sind sie anderen WF-Pasten deutlich unterlegen [107, 128], was sich nachweislich nachteilig auf den histologischen Zustand des periapikalen Gewebes nach einer WF mit diesen Materialien auswirkt [108, 111].

Daher ist zusammenfassend die Verwendung dieser Materialien zur WF nicht mehr angezeit.

2.9 WF-Pasten mit Medikamentenzusätzen

Mitunter wird einigen WF-Pasten ein starkes Desinfizien, zumeist Paraformaldehyd, und/oder ein Antiphlogistikum (Kortikosteroide) zugesetzt [158, 166]. Grundsätzlich werden darartige Zusätze aufgrund ihrer lokalen wie auch systemischen Nebenwirkungen zunehmend kritisch bewertet [158].

2.9.1 (Para-)Formaldehyd-Zusätze

Zur allgemeinen Bewertung aldehydfreisetzender zahnärztlicher Materialien sei auf die diesbezüglichen Stellungnahmen der DGZMK/DGZ [150, 151] verwiesen.

WF-Pasten mit einem Zusatz von Paraformaldehyd (Tab.1) spalten während und nach der Härtung Formaldehyd ab. Aufgrund der ausgeprägten neurotoxischen Wirkung des Formaldehyds [51, Übersicht bei 82, 140, 143] sind Parästhesien beschrieben worden, und zwar sowohl bei sachgerechter intrakanalärer Anwendung als auch insbesondere nach Überfüllung des Wurzelkanals. Nach BRODIN et al. [17] können die WF-Pasten bereits bei einer Kontaktzeit zu Nervenfasern von nur einer Minute eine irreversible Hemmung der Nervenaktivität verursachen.

Sogar bei ausschliesslich intrakanalärer Anwendung von WF-Pasten mit Paraformaldehyd-Zusatz wurden im periapikalen Gewebe massive chronische entzündliche Reaktionen nachgewiesen [42, 47, 156, 157]. Teilweise führten diese entzündlichen Vorgänge bis hin zu Nekrosen des Gewebes und Knochenresorptionen [145, 146, 156, 157]. Diese pathologischen Prozesse

waren bei einer nachweisbaren Überfüllung der WF-Pasten ins periapikale Gewebe noch wesentlich ausgeprägter [64, 165]. Die Heilung bestehender periapikaler Entzündungen wird durch die Anwendung dieser WF-Pasten nachweislich verzögert [2, 129, 156, 157]. WF-Pasten mit Zusatz von Paraformaldehyd sind somit eindeutig als zytotoxisch zu bewerten. Dies gilt für diese WF-Pasten auch im abgebandelten Zustand, wie für N2 nachgewiesen wurde [88].

Im umu-Test ergaben sich für die WF-Paste N2 Hinweise auf eine genotoxische Aktivität [62]. Eine ausführliche Übersicht zum bekannten mutagenen und karzinogenen Potenzial von Formaldehyd-haltigen zahnärztlichen Materialien findet sich bei LEWIS und CHESTNER [91].

Wie BLOCK et al. anhand der WF-Paste N2 zeigen konnte, resultiert nach WF mit Paraformaldehyd-haltigen Materialien eine systemische Verteilung von Formaldehyd [11], was auch von anderen Autoren bestätigt wurde [108]. Dies steht in Einklang zu einigen Fallbeschreibungen, bei denen es nach WF mit Paraformaldehyd-haltigen WF-Pasten zu systemischen allergischen Reaktionen gekommen war [35]. Insofern ist das allergisierende Potenzial des Formaldehyds eindeutig von klinischer Relevanz, da ein nahezu ubiquitär vorkommendes Hapten wie Formaldehyd bei vielen Patienten eine latente Sensibilisierung verursachen kann [35]. Dies kann zur Folge haben, dass bei derart sensibilisierten Patienten bereits bei der ersten Anwendung von Paraformaldehyd-haltigen Präparaten eine allergische Reaktion auftritt [35]. Mehrfach wurde in der Literatur auf allergische Reaktionen vom Sofort-Typ (Typ I) nach Anwendung Paraformaldehyd-haltiger WF-Pasten hingewiesen [35, 36].

Die Verwendung von WF-Pasten mit Zusatz von Paraformaldehyd ist heute als obsolet anzusehen [45, 86, 91]. In den Qualitätsrichtlinien der *Europäischen Gesellschaft für Endodontologie* sowie von der DGZMK zusammen mit der DGZ wurde die eindeutige Empfehlung ausgesprochen, im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung auf die Verwendung von Aldehydverbindungen zu verzichten [33, 150, 151].

2.9.2 Kortikosteroid-Zusätze

Kortikosteroide unterdrücken u.a. die Phagozytose sowie den Leukozytenaustritt [74] und bewirken durch eine generelle Hemmung der Proteinbiosynthese grundsätzlich eine Unterdrückung der Antikörperbildung und damit auch eine lokale Immunsuppression [18, 147]. Dies führt bei Anwendung dieser WF-Pasten vielfach – auch bei Zusatz eines Desinfizien oder eines Antibiotikums – zu einer unkontrollierten lokalen Vermehrung von Mikroorganismen [156, 157], was zumeist eine Verschlechterung einer bereits im periapikalen Gewebe etablierten Entzündung zur Folge hat [47, 157].

Die Anwendung Kortikoid-haltiger WF-Pasten zur WF kann heute nicht mehr als adäquate Therapie angesehen werden [158].

3 Wurzelkanalfüllstifte (WF-Stifte)

WF-Stifte sind weniger plastisch als WF-Pasten. Sie dienen bei der WF zur Kondensation von WF-Pasten und bestehen entweder aus Guttapercha, Metall oder Kunststoff [64, 158, 166]. Grundsätzlich weisen WF-Stifte folgende Vorteile auf:

- WF-Stifte weisen im Gegensatz zu den meisten WF-Pasten keine Aushärtungsschrumpfung auf [158].
- Feste Materialien – wie WF-Stifte – sind im Allgemeinen biologisch inerte als die meisten WF-Pasten [158].

Auf Stifte, die im Rahmen von chirurgischen Eingriffen (apikale

Verschlussstifte, transdentale Fixation) benutzt werden oder auf Stabilisierungsstifte (Stiftaufbauten) wird in der vorliegenden Übersicht nicht eingegangen.

3.1 Halbfeste WF-Stifte

3.1.1 Guttapercha-Stifte

Sie bestehen aus Guttapercha (20–45 Massen%), Zinkoxid (33–61,5 m%), Wachsen und Kunststoffen als Weichmacher (1,0–4,1 m%), Schwermetallsulfaten als Röntgenkontrastmittel (1,5–31,2 m%), Farbstoffen zur ISO-Kodierung (1,5–3,4 m%) sowie aus einigen Spurenelementen (unter 1 m%: u.a. Cd, Cu, Fe, S, Ti) [40, 49, 56, 68]. Einerseits aufgrund der Tatsache, dass natürlich vorkommende Zinkminerale stets als Nebenbestandteil Cadmium enthalten, und andererseits aufgrund der Reinheitsvorgaben für Zinkoxid als Bestandteil von Arzneiprodukten enthalten Guttapercha-Stifte Spuren von Cadmium. Zwei Stellungnahmen der DGZMK und DGZ zufolge [148, 149] sind Gesundheitsgefährdungen der Patienten durch die enthaltenen Spuren an Cadmium auch unter extremsten Bedingungen (komplette Auflösung der in den Wurzelkanälen befindlichen Guttapercha-Stifte und vollständige Resorption des so frei werdenden Cadmiums) ausgeschlossen. Zur Entfernung alter, klinisch und röntgenologisch unauffälliger WF besteht unter diesem Aspekt keinerlei Indikation [148, 149].

Guttapercha-Stifte gehören zur Gruppe der Beta-Guttapercha [48, 132]. Beta-Guttapercha weist die gleichen mechanischen Eigenschaften wie die natürlich vorkommende Alpha-Form auf, besitzt jedoch einen um 9 °C niedrigeren Schmelzpunkt [48]. Bei beiden Guttapercha-Formen handelt es sich um Trans-Isomere des Polyisoprens (trans-1,4-Polyisopren) [48, 132]. Wird Alpha-Guttapercha über den Schmelzpunkt hinaus erhitzt und sehr langsam wieder abgekühlt (0,5 °C/h), so rekristallisiert erneut die Alpha-Form, bei normaler oder schneller Abkühlung wandelt es sich in die Beta-Form um [48].

Die Biokompatibilität der Guttapercha-Stifte ist insgesamt als gut zu bewerten, wobei jedoch offensichtlich zwischen der Gewebeerträglichkeit des reinen Guttaperchas und jener von dentalen Guttapercha-Stiften zu unterscheiden ist [119]. Während reines Guttapercha nach Untersuchungen von SPANGBERG und LANGELAND [146] als ein Material mit äusserst geringer Toxizität anzusehen ist, wiesen dentale Guttapercha-Spitzen sowohl eine geringe antimikrobielle Wirkung [101] als auch eine teilweise länger andauernde Zytotoxizität bei direktem Zellkontakt auf [24, 104, 116, 119]. In Schweinen verursachten subkutan implantierte dentale Guttapercha-Spitzen eine lokalisierte Gewebereaktion, indem Makrophagen und mehrkernige Riesenzellen nachgewiesen wurden [142]. Den Autoren zufolge kann über den Apex ins periapikale Gewebe überstopftes Guttapercha die Heilung einer bestehenden periapikalen Läsion verzögern [142]. Dies wurde auch von SERENE et al. [139] bestätigt. Diese Arbeitsgruppe untersuchte *in vitro* die durch Guttapercha-Spitzen induzierte Aktivierung des Komplementsystems und kam zu dem Ergebnis, dass aufgrund der beobachteten Aktivierung des Komplementsystems, Guttapercha-Spitzen – sofern sie ins periapikale Gewebe überstopft werden – die feingewebige Heilung des periapikalen Gewebes negativ beeinflussen können [139]. Diese geschilderten negativen Eigenschaften sind wahrscheinlich durch das in den Guttapercha-Stiften enthaltene Zinkoxid bedingt [119].

Als äusserst seltene Komplikation bei der Anwendung von Guttapercha im Rahmen einer WF ist der Literatur eine Kasuistik einer allergischen Reaktion auf Guttapercha-Stifte zu ent-

nehmen [12]. In dem geschilderten Fall lag bei dem Patienten eine bekannte Latex-Allergie vor. Bei der WF ist es zu einer Überfüllung der palatinalen Wurzel eines oberen Molaren mit Guttapercha gekommen, welche unmittelbar eine diffuse Urtikaria zur Folge hatte [12]. Vermutlich können Patienten, welche eine Sensibilisierung gegenüber Naturlatex (cis-Polyisopren) aufweisen, unter Umständen auch allergisch auf das chemisch ähnliche Guttapercha (trans-Polyisopren) reagieren [12]. Guttapercha-Stifte sollten – wie schon erwähnt – stets in Kombination mit einer WF-Paste benutzt werden, und zwar auch bei WF-Techniken mit thermisch plastifizierter Guttapercha [143, 152].

Insgesamt erfüllen Guttapercha-Stifte in einem hohen Masse die Anforderungen, die unter den Aspekten Gewebeerträglichkeit, Abdichtungsverhalten, Handhabung und ggf. notwendige Entfernbarkeit an WF-Stifte zu stellen sind [u.a. 53].

3.2 Feste WF-Stifte

Festen WF-Stiften wird der Vorteil nachgesagt, dass sie aufgrund ihrer Steifigkeit besser zur Füllung enger und gekrümmter Wurzelkanäle geeignet sein sollen als Guttapercha-Stifte [54, 66]. Diesem Vorteil stehen indes erhebliche Nachteile gegenüber: Da feste WF-Stifte im Gegensatz zu Guttapercha-Stiften keine Kompressibilität aufweisen und somit nicht im Wurzelkanal kondensiert werden können [66], erhöht dies aufgrund der den meisten WF-Pasten eigenen Abbindekontraktion die Wahrscheinlichkeit von Randundichtigkeiten. Dies gilt umso mehr, als es praktisch nicht möglich ist, den Wurzelkanal über seine gesamte Länge kreisrund aufzubereiten, sodass er weitgehend den Dimensionen eines festen WF-Stiftes entspricht [66]. Verschiedene Autoren [54, 66] wiesen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass diese erforderliche kreisrunde Aufbereitung insbesondere bei der Instrumentierung gekrümmter Wurzelkanäle – also jene Kanäle, bei denen die Anwendung der festen WF-Stifte teilweise empfohlen wird [159] – in den aller seltensten Fällen gelingt. Insofern resultiert bei der Anwendung von festen WF-Stiften zumeist eine deutlich schlechtere Abdichtung der Wurzelkanäle im Vergleich zur Anwendung von Guttapercha-Stiften [60, 66].

Darüber hinaus ist bei einer ggf. indizierten Revision einer WF deren Entfernung durch feste Stifte erschwert, teilweise sogar unmöglich [66, 166].

3.2.1 Silberstifte

Kommen WF-Stifte aus Silber mit Gewebeflüssigkeit in Kontakt, so korrodieren sie in unterschiedlichem Ausmass bis hin zur Desintegration der Stifte [75, 179], wobei zytotoxische Produkte (Silbersulfide, -chlorid, -sulfate und -karbonate) entstehen [57, 59, 94]. Derartige Korrosionsvorgänge können auch im Wurzelkanal auftreten (Abb. 3b), sofern die Silberstifte nicht allseits vollständig von einer nicht-resorbierbaren WF-Paste umgeben sind [13, 66]. Korrosionsprodukte können in das periapikale Gewebe gelangen, wie von zahlreichen Autoren nachgewiesen wurde [176, 179] und dort einerseits zu einer durch Silbersulfide verursachten, blau-schwarzen Verfärbung der Mundschleimhaut im Bereich der Wurzelspitze von mit Silberstiften gefüllten Zähnen führen [94]. Derartige Korrosionsprodukte sind andererseits häufig die Ursache für akute und/oder chronische Entzündungsreaktionen im periapikalen Gewebe [57, 138] (Abb. 3a).

Aus diesen Gründen wurde versucht, teflon- oder guttapercha-beschichtete Silberstifte zur WF zu erproben [106, 167], wobei sich derartige Stifte in der endodontischen Praxis aber nicht

durchsetzen konnten.

Während einige Autoren die Gewebeverträglichkeit von Silberstiften im Implantationstest als gut bis nur leichte Entzündungsreaktionen verursachend bewerteten [26, 37, 177], resultierten in einer anderen Studie schwere Gewebeveränderungen beim Rhesus-Affen nach Silberstiftapplikation [117].

Ferner weisen WF-Stifte aus Silber eine im Vergleich zu den WF-Pasten deutlich erhöhte Radioopazität auf [62, 164], was die radiologische Überprüfung der WF erschweren kann [66, 88, 158, 166].

3.2.2 Titanstifte

Diese WF-Stifte korrodieren praktisch nicht [54] und sind weitgehend als biologisch inert zu bezeichnen [98]. Sie weisen bei der Abdichtung jedoch die gleichen Nachteile wie die Silberstifte auf. Einigen Autoren zufolge können Titanstifte bei der WF von sehr engen und stark gekrümmten Wurzelkanälen hilfreich sein, wobei sie jedoch den Wurzelkanal wegen ihres runden Querschnitts und der fehlenden Komprimierbarkeit nicht gut abdichten [54, 67]. Wurzelkanäle, die im apikalen Bereich bis zur ISO-Grösse 30 oder grösser aufbereitet wurden, lassen sich stets vorteilhafter mit Guttapercha verschliessen [54, 159, 166]. Die Röntgensichtbarkeit der WF-Stifte aus Titan ist deutlich geringer als jene der Silberstifte [49, 77]. Sie ist jener der Guttapercha-Stifte ähnlich, sodass röntgenologisch die Differenzie-

rung zwischen einer WF aus Guttapercha- und Titan-Stiften teilweise nicht möglich ist [77].

3.2.3 Kunststoffstifte

Diese mit Alpha-Guttapercha ummantelten Kunststoffstifte (aus Polysulfon [23]) erreichen bei nur geringgradiger Erwärmung der Guttapercha eine gute Abdichtung des Wurzelkanals [20, 21, 22, 137]. Dabei ist zu bedenken, dass Guttapercha mit zunehmender Temperatur eine gering ausgeprägte Expansion aufweist [48, 132], was zur Folge hat, dass bei einer Abkühlung der zuvor auf etwa 80 °C erwärmten WF-Stifte eine Schrumpfung der Guttapercha zu beobachten ist [132]. Tatsächlich konnten mehrere Autoren zeigen, dass bei alleiniger Anwendung derartiger Stifte eine erheblich schlechtere Wanddichtigkeit resultierte als bei einem kombinierten Einsatz mit einer WF-Paste [71, 152]. Insofern müssen auch diese WF-Stifte ausnahmslos in Kombination mit einer WF-Paste eingesetzt werden. Ein Vertreter dieser WF-Stifte ist das Thermafil-System (Dentsply DeTrey, Konstanz).

Hinsichtlich der Arbeitssicherheit ist eine gewisse Vorsicht bei der Anwendung dieser Systeme geboten, da es teilweise zu Überfüllungen in das periapikale Gewebe kommen kann, wie von mehreren Autoren beschrieben wurde [20, 21, 22, 28, 58, 73]. Darüber hinaus wurde von JUHLIN et al. [73] berichtet, dass bei WF mit dem Thermafil-System die Kunststoffstifte im apikalen Endabschnitt des Wurzelkanals teilweise nicht mehr von Guttapercha ummantelt waren, weil Guttapercha während des Abfüllvorgangs vom Stift abgestreift wurde. Somit könnte es, den Autoren zufolge, zu einem direkten Kontakt zwischen Trägerstift und dem periapikalen Gewebe kommen.

Bei einer später ggf. notwendigen Revision einer mit diesen Stiften erfolgten WF erschweren die Kunststoffstifte mitunter die Entfernung der WF [23].



Abb. 3 a) Mit Silberstiften wurzelkanalgefüllter Zahn 15, assoziiert mit einer akuten apikalen Parodontitis; b) nach Entfernung der Silberstifte sind über die gesamte Länge deutliche Korrosionserscheinungen (schwärzliche Verfärbungen) an beiden Stiften zu erkennen

Fig. 3 a) Canal radiculaire de la dent 15 obturée à l'aide de cônes d'argent, associé à une parodontite apicale aiguë; b) des signes nets de corrosion (coloration noire) sont visibles sur toute la longueur après le retrait des deux cônes d'argent.

Literatur

- AL-KHATAR N, KREMERS L, HICKEL R: Re-evaluation of endodontic treatment using different root canal sealers – a one year follow up study. Abstract. J Dent Res 77, 1265 (1998).
- ARAKI K, ISAKA H, ISHII T, SUDA H: Excretion of ¹⁴C-formaldehyd distributed systemically through root canal following pulpectomy. Endod Dent Traumatol 9, 196 (1993).
- AUTERHOFF H, KNABE J, HÖLTJE H-D: Lehrbuch der Pharmazeutischen Chemie. Wissenschaftliche Verlags-Gesellschaft, Stuttgart 1991.
- BARKHORDAR RA, BUI T, WATANABE L: An evaluation of sealing ability of calcium hydroxide sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 68, 88 (1989).
- BARKIN M E, BOYD J P, COHEN S: Acute allergic reactions to eugenol. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 57, 441 (1984).
- BARTHEL C R, NOACK M J, ROULET J-F: Die Dichtigkeit von Ketac Endo und AH26 in Abhängigkeit von der Wurzelkanalfülltechnik in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 49, 285 (1994).
- BECK-MANNAGETTA J, NECEK D, GRASSERBAUER M: Zahnärztliche Aspekte der solitären Kieferhöhlen-Aspergillose. Z Stomatol 83, 283 (1986).
- BELTES P, KOULAOUZIDOU E, KOTOULA V, KORTSARIS A H: In vitro evaluation of the cytotoxicity of calcium hydroxide-based root canal sealers. Endod Dent Traumatol 11, 245 (1995).
- BENKEL B H, RISING D W, GOLDMAN L B, ROSEN H, GOLDMAN M, KRONMAN J H: Use of a hydrophilic plastic as a root canal filling material. J Endodont 2, 196 (1976).

10. BLACK G V: Konservierende Zahnheilkunde. Band II. Meusser, Berlin 1914.
11. BLOCK R M, LEWIS R D, HIRSCH J, COFFEY J, LANGELAND K: Systemic distribution of N2 paste containing ¹⁴C-paraformaldehyde following root canal therapy in dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 50, 350 (1980).
12. BOXER M B, GRAMMER L C, ORFAN N: Gutta-percha allergy in a health care worker with latex allergy. *J Allergy Clin Immunol* 93, 943 (1994).
13. BRADY P R, DEL RIO C E: Corrosion of endodontic silver cones in humans: a scanning electron microscopic and X-ray microprobe study. *J Endodont* 1, 205 (1975).
14. BRATEL J, JONTELL M, DAHLGREN U, BERGENHOLTZ G: Effects of root canal sealers on immunocompetent cells in vitro and in vivo. *Int Endod J* 31, 178 (1998).
15. BRISEÑO B M, WILLERSHAUSEN B: Root canal sealer cytotoxicity on human gingival fibroblasts. II. Silicone- and resin-based sealers. *J Endodont* 17, 537 (1991).
16. BRISEÑO B M, WILLERSHAUSEN B: Root canal sealer cytotoxicity with human gingival fibroblasts. III. Calcium hydroxide-based sealers. *J Endodont* 18, 110 (1991).
17. BRODIN P, RØED A, AARS H, ØRSTAVIC D: Neurotoxic effects of root filling materials on rat phrenic nerve in vitro. *J Dent Res* 61, 1020 (1982).
18. BUDECKE E: Grundriss der Biochemie, 6. Aufl. de Gruyter, Berlin 1980.
19. CAICEDO R, VON FRAUNHOFER J A: The properties of endodontic sealer cements. *J Endodont* 14, 527 (1988).
20. CHOHAHEY A A: Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators. *J Endodont* 18, 10 (1992).
21. CHOHAHEY A A: Microleakage of apical seal of plastic versus metal Thermafil root canal obturators. *J Endodont* 18, 613 (1992).
22. CLARK D S, ELDEEB M E: Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators. *J Endodont* 19, 4 (1993).
23. COHEN S, BURNS R C: Pathways of the Pulp, 6th ed. Mosby, St. Louis 1994.
24. DAS S: Effect of certain dental materials on human pulp in tissue culture. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 52, 76 (1981).
25. DE GEE A J, WU M K, WESSELINK P R: Sealing properties of Ketac Endo glass ionomer cement and AH26 root canal sealer. *Int Endod J* 27, 239 (1994).
26. DIXON C M, RICKERT U G: Tissue tolerance to foreign materials. *J Am Dent Assoc* 20, 1458 (1933).
27. DORAN M G, RADTKE P K: A review of endodontic medications. *Gen Dent* 46, 484 (1998).
28. DUMMER P M, KELLY T, MEGHJI A, SHEIKH I, VANITCHAI J T: An in vitro study of the quality of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 26, 99 (1993).
29. EBERT J, LOEFFLER H, ZELS H, PETSCHL A: Sealing ability of RoekoSeal-Automix under different conditions. Posterpräsentation, ESE-Kongress, Göteborg, Schweden, 1997.
30. EBERT J, PETSCHL A: Sealing ability of a new silicone-based sealer under different conditions. Posterpräsentation, IADR-Tagung, Vancouver, Kanada, 1999.
31. ERAUSQUIN J, MURUZABAL M: Root canal filling with zinc oxide-eugenol cement in rat molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 24, 548 (1967).
32. ERSEV H, SCHMALZ G, BAYIRLI G, SCHWEIKL H: Cytotoxic and mutagenic potencies of various root canal filling materials in eukaryotic and procaryotic cells in vitro. *J Endodont* 25, 359 (1999).
33. European Society of Endodontology: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. *Endodontie* 4, 263 (1994).
34. FANIBUNDA K, WHITWORTH J, STEELE J: The management of thermomechanically compacted gutta percha extrusion in the inferior dental canal. *Br Dent J* 184, 330 (1998).
35. FEHR B, HUWYLER T, WÜTHRICH B: Formaldehyd- und Paraformaldehydallergie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 94 (1992).
36. FEIGLIN B: Effect of some endodontic sealers on cell migration in experimental granulomas. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 63, 371 (1987).
37. FELDMAN G, NYBORG H: Tissue reactions to root filling materials. A comparison of implants of silver and root filling material AH26 in rabbit's jaws. *Odontol Rev* 15, 33 (1964).
38. FORMAN G H, ORD R A: Allergic endodontic angio-oedema in response to periapical Endomethasone. *Br Dent J* 160, 348 (1986).
39. FRAUNHOFER J A, VAN BRANSTETTER J: The physical properties of four endodontic sealer cements. *J Endodont* 8, 126 (1982).
40. FRIEDMAN M, SANDRIK J L, HEUER M A, RAPP G W: Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points. *J Dent Res* 54, 921 (1975).
41. FRIEDMAN S, LÖST C, ZARRABIAN M, TROPE M: Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endodont* 21, 384 (1995).
42. FRIEND L A, BROWN R M: Tissue reactions to some root filling materials. *Br Dent J* 125, 291 (1968).
43. GEROSA R, BORIN M, MENEGAZZI G, PUTTINI M, CAVALLERI G: In vitro evaluation of the cytotoxicity of pure eugenol. *J Endodont* 22, 532 (1996).
44. GETTLEMAN B H, MESSER H ELDEEB M: Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endodont* 17, 15 (1991).
45. GEURTSSEN W, LEYHAUSEN G: Biological aspects of root canal filling materials – histocompatibility, cytotoxicity, and mutagenicity. *Clin Oral Invest* 1, 5 (1997).
46. GEURTSSEN W, LEINENBACH F, KRAGE T, LEYHAUSEN G: Cytotoxicity of four root canal sealers in permanent 3T3 cells and primary human periodontal ligament fibroblast cultures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 85, 592 (1998).
47. GIEVE A R, PARKHOLM J D O: The sealing properties of root filling cements: Further studies. *Br Dent J* 135, 327 (1973).
48. GOODMAN A, SCHILDER H, ALDRICH W: The thermomechanical properties of gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 37, 954 (1974).
49. GOSS J, WRIGHT W, BOWLES W: Radiographic appearance of titanium alloy prefabricated posts cemented with different luting materials. *J Prosthet Dent* 67, 632 (1992).
50. GRADE A C: Eugenol in Wurzelkanalzementen als mögliche Ursache für eine Urtikaria. *Endodontie* 4, 121 (1995).
51. GROSSMAN L I: Paresthesia from N2 or N2 substitute. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 45, 114 (1978).
52. GUIGAND M, PELLEN-MUSSI P, VULCAIN J-M, BONNAURE-MALLET M: Evaluation of the cytocompatibility of three endodontic materials. *J Endodont* 25, 419 (1999).
53. GULDENER P H A, LANGELAND K: Endodontologie. Thieme, Stuttgart 1982.

54. GULDENER P H A: Endodontie: Wurzelkanalaufbereitung und -füllung. *Schweiz Mschr Zahnmed* 99, 1019 (1989).
55. GULDENER P H: Die Stifttechnik in der Endodontie. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 81, 311 (1971).
56. GURNEY B F, BEST E J, GERVASIO G: Physical measurements on gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 260 (1971).
57. GUTIÉRREZ J H, VILLENA F, GIGOUX C, MUJICA F: Microscope and scanning electron microscope examination of silver points corrosion caused by endodontic materials. *J Endodont* 8, 301 (1982).
58. HADDIX J E, JARRELL M, MATTISON G D, PINK F E: An in vitro investigation of the apical seal produced by a new thermoplasticized gutta-percha obturation technique. *Quintessence Int* 22, 159 (1991).
59. HANDTMANN S, LINDEMANN W, HÜTTEMANN H, SCHULTE W: Korrosionserscheinungen an Silberstiften im Wurzelkanal (I). *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 362 (1987).
60. HEIDEMANN D: Die Wurzelfüllung – manuell – maschinell. *Dtsch Zahnärztl Z* 44, 414 (1989).
61. HEIL J, REIFFERSCHIED G, WALDMANN P, LEYHAUSEN G, GEURTSSEN W: Genotoxicity of dental materials. *Mutat Res* 368, 181 (1996).
62. HICKEL R, VOSS A: Strahlenreduktion bei der Röntgenmessaufnahme. *Dtsch Zahnärztl Z* 41, 965 (1986).
63. HOLLAND R, DE SOUZA V: Ability of a new calcium hydroxide root filling material to introduce hard tissue formation. *J Endodont* 11, 535 (1985).
64. HONG Y C, WANG J T, HONG C Y, BROWN W E, CHOW L C: The periapical tissue reactions to a calcium phosphate cement in the teeth of monkeys. *J Biomed Mater Res* 25, 485 (1991).
65. HORSTED P, SOHOLM B: Overfølsomhed over for rodyfyldingsmaterialet AH26. *Tandlaegebladet* 80, 194 (1976).
66. HÜLSMANN M: Die Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften. *Endodontie* 4, 49 (1995).
67. HÜLSMANN M: Die Wurzelkanalfüllung: Materialien und Techniken. *Zahnärztl Mitt* 81, 872 (1991).
68. HÜLSMANN M: Guttapercha – Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung. *Endodontie* 2, 115 (1993).
69. HUME W R: Effect of eugenol on respiration and division in human pulp mouse fibroblasts, and liver cells in vitro. *J Dent Res* 63, 1262 (1984).
70. INGLE J I, BAKLAND L K: *Endodontics*, 4th ed. Williams & Wilkins, Baltimore 1994.
71. ISHLEY D J, ELDEEB M E: An in vitro assessment of the quality of apical seal of thermomechanically obturated canals with and without sealer. *J Endodont* 9, 242 (1983).
72. JACOBSEN E L, BEGOLE E A, VITKUS D D, DANIEL J C: An evaluation of two newly formulated calcium hydroxide cements: a leakage study. *J Endodont* 13, 164 (1987).
73. JUHLIN J J, WALTON R E, DOVGAN J S: Adaption of Thermafil components to canal wall. *J Endodont* 19, 130 (1993).
74. KAISER H: *Cortisonderivate in Klinik und Praxis*, 6. Aufl. Thieme, Stuttgart 1973.
75. KEHOE J C: Intracanal corrosion of a silver cone producing a localized argyria: scanning electron microscope and energy dispersive X-ray analyzer analysis. *J Endodont* 10, 199 (1984).
76. KLAIBER B, MITTERMAYER C, KADEN P, SCHWECHTEN I: Toxizitätsbestimmung von Wurzelfüllmaterialien und deren einzelnen Komponenten in der Zellkultur. *Dtsch Zahnärztl Z* 36, 212 (1981).
77. KLEIER D J, SHIBILSKI K, AVERBACH R E: Radiographic appearance of titanium posts in endodontically treated teeth. *J Endodont* 25, 128 (1999).
78. KOBAYASHI A: Asymptomatic aspergilliosis of the maxillary sinus associated with foreign body of endodontic origin – report of a case. *Int J Oral Maxillofac Surg* 24, 243 (1995).
79. KOCH A, HÜLSMANN M: Kieferhöhlenaspergillose und Wurzelkanalbehandlung. *Endodontie* 2, 181 (1993).
80. KOCH G, MAGNUSSON B, NYQUIST G: Contact allergy to medicaments and materials used in dentistry (II). Sensitivity to eugenol and colophony. *Odontol Rev* 22, 275 (1971).
81. KOCH M J, STAEHLE H J: Formaldehyd in zahnärztlichen Materialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 778 (1997).
82. KOÇKAPAN C: Überfüllung in den Mandibularkanal als endodontische Komplikation. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103, 20 (1993).
83. KOLOKURIS I, BELTES P, ECONOMIDES N, VLEMMAS I: Experimental study of the biocompatibility of a new glass-ionomer root canal sealer (Ketac-Endo). *J Endodont* 22, 395 (1996).
84. KOULAOUZIDOU E A, PAPAZISI K T, BELTES P, GEROMICHALOS G D, KORTSARIS A H: Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in vitro evaluation. *Endod Dent Traumatol* 14, 182 (1998).
85. KOZAM G: The effect of eugenol on nerve transmission. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 44, 799 (1977).
86. LAMBERG-HANSEN H: Vital pulpectomy and root filling with N2 or Endomethasone. *Int Endod J* 20, 194 (1987).
87. LANGELAND K, OLSSON B, PASCON E: Biological evaluation of Hydron. *J Endodont* 7, 196 (1981).
88. LANGELAND K: Root canal sealers and pastes. *Dent Clin North Am* 18, 309 (1974).
89. LEONARDO M R, ALMEIDA W A, DE SILVA L A B, UTRILLA L S: Histological evaluation of the response of apical tissues to glass ionomer and zinc oxide-eugenol based sealers in dog teeth after root canal treatment. *Endod Dent Traumatol* 14, 257 (1998).
90. LEONARDO M R, DA SILVA L A B, ALMEIDA W A, UTRILLA L S: Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer. *Endod Dent Traumatol* 15, 28 (1999).
91. LEWIS B B, CHESTNER S B: Formaldehyde in dentistry: a review of mutagenic and carcinogenic potential. *J Am Dent Ass* 103, 429 (1981).
92. LEYHAUSEN G, HEIL J, REIFFERSCHIED G, WALDMANN P, GEURTSSEN W: Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based root canal sealer AH Plus. *J Endodont* 25, 109 (1999).
93. LIMKANGWALMONGKOL S, ABBOTT P V, SANDLER A B: Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning. *J Endodont* 18, 535 (1992).
94. LINDEMANN W, HANDTMANN S, HÜTTEMANN H, SCHULTE W: Korrosionserscheinungen an Silberstiften im Wurzelkanal (II). *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 639 (1987).
95. MATSUMOTO K, INOUE K, MATSUMOTO A: The effect of newly developed root canal sealers on rat dental pulp cells in primary culture. *J Endodont* 15, 60 (1989).
96. MCNAMARA J R, HEITHERSAY G S, WIEBKIN O W: Cell responses to Hydron by a new in-vitro method. *Int Endod J* 25, 205 (1992).
97. MERYON S D, JAKEMAN K J: The effects in vitro of zinc released from dental restorative materials. *Int Endod J* 18, 191 (1985).
98. MESSING J J: The use of titanium cones and apical tips as a root canal filling material: a clinical evaluation. *Br Dent J*

- 148, 41 (1980).
99. MITTAL M, CHANDRA S, CHANDRA S: Comparative tissue toxicity evaluation of four endodontic sealers. *J Endodont* 21, 622 (1995).
 100. MOLNAR E J: Residual eugenol from zinc oxide eugenol compounds. *J Dent Res* 64, 645 (1967).
 101. MOORER W R, GENET J M: Evidence for antibacterial activity of endodontic gutta-percha cones. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 503 (1982).
 102. MORSE D R, MARTELL B, PIKE C G, FANTASIA J, ESPOSITO J V, FURST M L: A comparative tissue toxicity evaluation of gutta-percha root canal sealers. Part II. Forty-eight hour findings. *J Endodont* 10, 484 (1984).
 103. MORSE D R, WILCKO P R, PULLON A, FURST M L, PASSO S A: A comparative tissue toxicity evaluation of the liquid components of gutta-percha root canal sealers. *J Endodont* 7, 545 (1981).
 104. MUNACO F S, MILLER W A, EVERETT M M: A study of long-term toxicity of endodontic materials with use of an in vitro model. *J Endodont* 4, 151 (1978).
 105. NAKAMURA H, SAKAKIBARA F, MATSUMOTO Y, HIRANO S, HAYAKAWA H, SAKAI K, MORRIS Y: Study on the cytotoxicity of root canal filling materials. *J Endodont* 12, 156 (1986).
 106. NEGM M M, GRAND A A, COMBE E C: A newly designed root canal filling material. *Br Dent J* 148, 9 (1980).
 107. O'NEILL K J O, PITTS D L, HARRINGTON G W: Evaluation of the apical seal produced by the McSpadden Compactor and by lateral condensation with a chloroform-softened primary cone. *J Endodont* 9, 190 (1983).
 108. OLSSON B, SLIWKOWSKI A, LANGELAND K: Subcutaneous implantation for the biological evaluation of endodontic materials. *J Endodont* 7, 355 (1981).
 109. OLSSON B, WENNBERG A: Early tissue reaction to endodontic filling materials. *Endod Dent Traumatol* 1, 138 (1985).
 110. ØRSTAVIK D, HONGSLO J K: Mutagenicity of endodontic sealers. *Biomaterials* 6, 129 (1985).
 111. ØRSTAVIK D, KEREEKS K, ERIKSEN H M: Clinical performance of three endodontic sealers. *Endod Dent Traumatol* 3, 178 (1987).
 112. ØRSTAVIK D: Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scand J Dent Res* 91, 316 (1983).
 113. ØRSTAVIK D, KEREEKS K, ERIKSEN H M: Clinical performance of three endodontic sealers. *Endod Dent Traumatol* 3, 178 (1987).
 114. ØRSTAVIK D, MJÖR I A: Histopathology and X-ray microanalysis of the subcutaneous tissue response to endodontic sealers. *J Endodont* 14, 13 (1988).
 115. OSINS B A, CARTER P R, SHIH-LEVINE M: Microleakage of four root canal sealer cements as determined by an electrochemical technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 56, 80 (1983).
 116. OSWALD R J, FRIEDMAN C E: Periapical response to dentin fillings – a pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 49, 344 (1980).
 117. PALMER G R, WEINE F S, PALMER M J, HEALEY H J: A study of the tissue reaction to silver cones and Ti-6Al-4V in the Rhesus monkey. *J Endodont* 5, 116 (1979).
 118. PASCON E A, LEONARDO M R, SAFAVI K, LANGELAND K: Tissue reactions to endodontic materials: methods, criteria, assessment, and observations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 72, 222 (1991).
 119. PASCON E A, SPANGBERG L S W: In vitro cytotoxicity of root canal filling material. 1. Gutta-percha. *J Endodont* 16, 429 (1990).
 120. PISSIOTIS E, SPANGBERG L S W: Cytotoxicity of a new glass ionomer root canal sealer. *Int Endod J* 27, 106 (1994).
 121. PRYNER D A: Paresthesia of inferior alveolar nerve caused by Hydron – a case report. *J Endodont* 6, 527 (1980).
 122. RAPPAPORT H M, LILLIY G E, KAPSIMALIS P: Toxicity of endodontic filling materials. *J Oral Surg* 18, 785 (1964).
 123. RAY H, SELTZER S: A new glass ionomer root canal sealer. *J Endodont* 17, 598 (1991).
 124. REID R J, ABBOTT P V, MCNAMARA J R, HEITHERSAY G S: A five-year study of Hydron root canal fillings. *Int Endod J* 25, 213 (1992).
 125. REID R J, WILSON D F, CHAU K K, HEITHERSAY G S, HEIJKOOP P S: Tissue responses to Hydron, assessed by intramuscular implantation. *Int Endod J* 25, 199 (1992).
 126. REID R J, WILSON D F, CHAU K K, HEITHERSAY G S, HEIJKOOP P S: Tissue responses to Hydron, assessed by intraosseous implantation. *Int Endod J* 25, 192 (1992).
 127. RISING D W, GOLDMAN M, BRYTON S M: Histopathological appraisal of three experimental root canal filling materials. *J Endodont* 1, 172 (1975).
 128. RUSSIN T P, ZARDIACKAS L D, READER A, MENKE R A: Apical seals obtained with lateral condensed, chloroform-softened gutta-percha and Grossman's sealer. *J Endodont* 6, 678 (1980).
 129. S'GRAVENMADE E J, WEMES J C, DANKERT J: Quantitative measurements of the diffusion in vitro of some aldehydes in root canals of human teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 52, 97 (1981).
 130. SAUNDERS E M, SAUNDERS W P: Long-term coronal leakage of JS Quickfill root fillings with Sealapex and Apexit sealers. *Endod Dent Traumatol* 11, 181 (1995).
 131. SAUNDERS W P, SAUNDERS E M: Coronal leakage as a cause of failure in root canal therapy: a review. *Endod Dent Traumatol* 10, 105 (1994).
 132. SCHILDER H, GOODMAN A, ALDRICH W: The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 59, 285 (1985).
 133. SCHROEDER A: Mitteilungen über die Abschlussdichtigkeit von Wurzelfüllmaterialien und erster Hinweis auf ein neuartiges Wurzelfüllmittel. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 64, 921 (1954).
 134. SCHROEDER A: Zum Problem der bakteriendichten Wurzelkanalversorgung. *Zahnärztl Welt* 58, 19 (1957).
 135. SCHWEIKL H, SCHMALZ G, STIMMELMAYR H, BEY B: Mutagenicity of AH26 in an in vitro mammalian cell mutation assay. *J Endodont* 21, 407 (1995).
 136. SCHWEIKL H, SCHMALZ G: Evaluation of the mutagenic potential of root canal sealers using the Salmonella/microsome assay. *J Mater Sci: Mater Med* 2, 181 (1991).
 137. SCOTT A C, VIRE D E, SWANSON R: An evaluation of the Thermafil endodontic obturation technique. *J Endodont* 19, 340 (1993).
 138. SELTZER S, GREEN D B, WEINER N, DERENZIS F: A scanning electron microscope examination of silver cones removed from endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 33, 589 (1972).
 139. SERENE T P, VESELY J, BOACKLE R J: Complement activation as a possible in vitro indication of the inflammatory potential of endodontic materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*

- 65, 354 (1988).
140. SERPER A, ÜÇER O, ONUR R, ETIKAN I: Comparative Neurotoxic effects of root canal filling materials on rat sciatic nerve. *J Endodont* 24, 592 (1998).
 141. SIQUEIRA J F, RÔAS I N, LOPES H P, DE UZEDA M: Coronal leakage of two root canal sealers containing calcium hydroxide after exposure to human saliva. *J Endodont* 25, 14 (1999).
 142. SJÖGREN U, SUNDQVIST G, RAMACHANDRAN NAIR P N: Tissue reaction to gutta-percha particles of various sizes when implanted subcutaneously in guinea pigs. *Eur J Oral Sci* 103, 313 (1995).
 143. SKINNER R L, HIMEL V T: The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without sealer. *J Endodont* 13, 315 (1987).
 144. SMITH D C: The setting of zinc oxide-eugenol mixtures. *Br Dent J* 105, 313 (1958).
 145. SPANGBERG L S W, BARBOSA S V, LAVIGNE G D: AH26 releases formaldehyd. *J Endodont* 19, 596 (1993).
 146. SPANGBERG L S W, LANGELAND K: Biologic effects of dental materials. I. Toxicity of root canal filling materials on HeLa cells in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 35, 402 (1973).
 147. SPECTOR R G: Pharmacological properties of the glucocorticoids. *Int Dent J* 31, 152 (1981).
 148. Stellungnahme der DGZMK und DGZ zum Artikel «Gift in unseren Wurzeln» (Spiegel 46/1998). *Zahnärztl Mitt* 88, 3054 (1998).
 149. Stellungnahme der DGZMK und DGZ: Aktuelle Stellungnahme zum Spiegel-Artikel «Cadmiumgehalt von Gutta-percha-Stiften». *Zahnärztl Mitt* 88, 3054 (1998).
 150. Stellungnahme der DGZMK/DGZ zu der Anfrage des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte über die Anwendung (para)formaldehydhaltiger Präparate vom 21.9.1998.
 151. Stellungnahme der DGZMK: Anwendung aldehydfreisetzender zahnärztlicher Materialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 772 (1997).
 152. TAGGER M, KATZ A, TAMSE A: Apical seal using the GPII method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78, 225 (1994).
 153. TAGGER M, TAGGER E, KFIR A: A release of calcium and hydroxyl ions from set of endodontic sealers containing calciumhydroxide. *J Endodont* 14, 588 (1988).
 154. TAKAHARA K, ONODERA A, MATSUMOTO K: Toxicity of root canal sealers on rat bone cells in primary culture. *Endod Dent Traumatol* 6, 200 (1990).
 155. TANZILLI J P, NEVINS A J, BORDEN B G: The reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants filled with Hydron or gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55, 507 (1983).
 156. TEPEL J, DARWISCH M, HOPPE W: Reaction of inflamed periapical tissue to intracanal medicaments and root canal sealers. *Endod Dent Traumatol* 10, 233 (1994).
 157. TEPEL J, HOPPE W, DARWISCH M: Der Einfluss von Wurzelfüllpasten auf das periapikale Gewebe bei tierexperimenteller apikaler Parodontitis. *Endodontie* 2, 131 (1994).
 158. THODENVANVELZEN S K, GENET P R, KERSTEN H W, MOORER W R, WESSELINK P R: *Endodontie*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1988.
 159. TITPAWAT S, JENSEN J, FEIGAL R J, MESSER H H: An in vitro study of the comparative effectiveness of obturating curved root canals with gutta-perche cones, silver cones, and stainless steel files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55, 180 (1983).
 160. TRONSTAD L, BARNETT F, FLAX M: Solubility and biocompatibility of calcium hydroxide-containing root canal sealers. *Endod Dent Traumatol* 4, 152 (1988).
 161. TRONSTAD L, WENNBERG A: In vitro assessment of the toxicity of filling materials. *Int Endod J* 13, 131 (1980).
 162. TRONSTAD L: *Clinical endodontics*. Thieme, Stuttgart 1991.
 163. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service: Forth annual report on carcinogens. PB 85 - 134663 (1985).
 164. VOSS A: Die Wurzelkanallängenbestimmung – Röntgenologisch und/oder endometrisch. In: *Akademie Praxis und Wissenschaft in der DGZMK (Hrsg.): Endodontie*. Hanser, München 1993, S. 49.
 165. WAYMAN B E, MURATA S M, ALEIDA R J, FOWLER C B: A bacteriological and histological evaluation of 58 periapical lesions. *J Endodont* 18, 152 (1992).
 166. WESSELINK P R: Die Wurzelkanalfüllung (I). *Endodontie* 4, 181 (1995).
 167. WEST N M, WEST J E, REVERE J H, MARSHALL C: A new approach to the use of silver cones; the effect of negatively charged Teflon: a preliminary study. *J Endodont* 5, 208 (1979).
 168. WIENER B H, SCHILDER H: A comparative study of important physical properties of various root canal sealers. II. Evaluation of dimensional changes. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 928 (1971).
 169. WILSON A D, CLINTON D J, MILLER R P: Zinc oxide-eugenol cements: IV. Microstructure and hydrolysis. *J Dent Res* 52, 253 (1973).
 170. WITHWORTH J: Sealer selection: a considered approach. *Endod Prac* 2, 31 (1999).
 171. WONG M, PETERS D D, LORTON I, BERNIER W E: Comparison of gutta-percha filling techniques: three chloroform-gutta-percha filling techniques. Part 2. *J Endodont* 8, 4 (1982).
 172. WOODS R L, KILDEA P M, GABRIEL S A, FREILICH L S: A histologic comparison of Hydron and zinc oxide-eugenol as endodontic filling materials in the primary teeth of dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 58, 82 (1984).
 173. WRBAS K-T, KIELBASSA A M, HELLMIG E: Das Wasseraufnahmeverhalten verschiedener Wurzelkanalsealer. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 146 (1998).
 174. WU M-K, DE GEE A J, WESSELINK P R: Leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 27, 304 (1994).
 175. WU M-K, WESSELINK P R, BOERSMA J: A one-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 28, 185 (1995).
 176. ZIELKE D R, BRADY P R, DEL RIO C E: Corrosion of silver cones in bone: a scanning electron microscope and microprobe analysis. *J Endodont* 1, 356 (1975).
 177. ZMENER O, DOMINGUEZ F V: Corrosion of silver cones in the subcutaneous tissue of rat: a preliminary scanning electron microscope, electron microprobe, and histological study. *J Endodont* 11, 55 (1985).
 178. ZMENER O, DOMINGUEZ F V: Tissue response to a glass ionomer used as an endodontic cement: a preliminary study in dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 56, 198 (1983).
 179. ZMENER O: An unusual case of silver cone disintegration.

- J Endodont 15, 319 (1989).
180. ZMENER O: Evaluation of the apical seal obtained with two calcium hydroxide based endodontic sealers. Int Endod J 20, 87 (1987).