



B. Thonemann¹, M. Federlin¹

Komplikationsmanagement in der Endodontie

Management of complications during endodontic treatment



Prof. Dr. Birger Thonemann

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten? / Why should you read this article?

Diese Übersicht stellt Aspekte dar, denen im Vorfeld, während und nach der endodontischen Behandlung in Hinblick auf die Vermeidung von „Stolpersteinen“ bei der Therapie besondere Beachtung geschenkt werden muss.

This manuscript summarizes patient and tooth related problems occurring during endodontic treatment and offers suggestions as to how to identify, avoid and address such complications.

Zusammenfassung:

In der Endodontie stehen heute vielfältige, moderne Möglichkeiten zur Diagnostik, Desinfektion und Aufbereitung des Wurzelkanalsystems sowie zur Obturation zur Verfügung.

So kann heute bei sorgfältiger Diagnostik und Therapieentscheidung sowie adäquater Therapie in den meisten Fällen – abhängig von der Ausgangssituation (mit vs. ohne apikale Parodontitis/Erst- vs. Revisionsbehandlung) – mit Erfolg dem Wunsch des Patienten nach dem Erhalt des eigenen Zahnes entsprochen werden.

Dies berücksichtigt jedoch nicht, dass sich der endodontisch tätige Zahnarzt immer wieder mit Komplikationen im Rahmen endodontischer Behandlungen und mit Misserfolgen der Therapie auseinandersetzen muss, die bereits entweder im Rahmen der Erstbehandlung an sich oder bei der Revision auftreten. Die Ursachen für einen endodontischen Misserfolg sind vielfältig, und es gilt in erster Linie, bereits im Rahmen der Diagnostik und Behandlungsplanung aber auch während der Therapie mögliche Komplikationen zu erkennen und Misserfolgen vorzubeugen. Diese Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, stellt jedoch unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur Aspekte hervor, denen im Vorfeld, während und nach der Behandlung in Hinblick auf die Vermeidung von „Stolpersteinen“ bei der Therapie besondere Beachtung geschenkt werden muss.

(Dtsch Zahnärztl Z 2015; 70: 193–208)

Schlüsselwörter: Endodontie; Komplikationen; Revision; Zugängskavität; Darstellung Kanäle; Fragment; Perforation

Summary: Recent developments in the field of endodontics focusing especially on the use of loupes and the operating microscope as well as on diagnostics, chemo-mechanical debridement, instrumentation and obturation have considerably influenced the outcome of initial endodontic treatment and secondary treatment when applicable.

Therefore, with thorough diagnostics and therapeutic decision making as well as adequate treatment according to current guidelines, the patients' desire to "save their own tooth" can be addressed with a high probability of success – depending upon the initial situation (with vs. without periapical lesion/initial treatment vs. retreatment).

However, despite technical developments and the use of high magnification, dentists still encounter complications and difficulties during endodontic treatment that may put success into question and that need to be addressed. Problems encountered in endodontics may include patient-related factors (age, general health, compliance) and tooth related factors (difficult access, curved canals, accessory canals, steps, ledges, infractions and more). Some complications can be avoided through thorough diagnostics and interpretation of x-rays, if this is not possible, action needs to be taken during endodontic treatment. This manuscript – though far from claiming completeness – summarizes patient related and tooth related problems occurring during endodontic treatment and offers suggestions as to how to identify, avoid and address such complications.

Keywords: root canal treatment; complications; revision; access cavity; accessory canals; fragments; perforation

¹ Universitätsklinikum Regensburg, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Direktor: Prof. Dr. med. dent. Wolfgang Buchalla, Franz-Josef-Strauß-Allee 11, 93053 Regensburg und Privatzahnärztliche Praxis, Luegplatz 3, 40545 Düsseldorf

Peer-reviewed article: eingereicht: 17.03.2015, revidierte Fassung akzeptiert: 13.04.2015

DOI 10.3238/dzz.2015.0193-0208

1 Komplikationen in der Endodontie – wie kann man sie vermeiden?

Schwierigkeiten bei der endodontischen Behandlung treten nicht erst mit der Identifikation einer Instrumentenfraktur, einer *via falsa* oder einer Infraktur auf – schon viel früher können sich Probleme abzeichnen, die letztendlich langfristig in einem Misserfolg der Therapie münden müssen. Bereits im Rahmen von Anamnese und Indikationsstellung, Befund, Diagnostik und Therapieentscheidung müssen mögliche Faktoren, die zu Problemen führen könnten, berücksichtigt werden. Schlüsselfragen für eine endodontische Therapie sind die Abklärung der Indikationsstellung für eine orthograde Wurzelkanalbehandlung im individuellen Patientenfall, die Nutzen-Risiko Abschätzung unter dem Aspekt eines langfristigen Therapieerfolges, sowie die Möglichkeit der funktionellen Rehabilitation des Zahnes im Rahmen des Gesamtkonzeptes [31, 46, 85].

Insgesamt wird die Erfolgsrate endodontischer Behandlungen heute bei der primären Wurzelkanalbehandlung mit 71–83 % angegeben [99], die sich im Fall der Revision auf 59–81 % reduziert [99]. Weiterhin wird die Erfolgsrate sowohl bei der Erstbehandlung als auch bei der Revision durch das Vorhandensein einer periapikalen Läsion beeinflusst [19, 29, 85, 99]. Als Erfolg wird eine Wurzelkanalbehandlung dann bezeichnet, wenn klinische Symptome fehlen, radiologisch keine pathologischen Veränderungen der periapikalen Gewebe identifizierbar oder röntgenologisch erkennbare apikale Parodontopathien ausgeheilt sind [27]. Der Patient kann jedoch „seinen Zahn“ nicht erhalten, wenn die Infektion des Wurzelkanalsystems nicht eliminiert werden kann, besonders dann nicht, wenn Komplikationen auftreten, die die Therapie erschweren oder den Behandlungserfolg in Frage stellen. Diese Fälle werden in der Statistik selten erfasst.

Wo aber genau liegen diese Probleme, deren Kenntnisse und Berücksichtigung dazu beitragen sollen, Komplikationen zu vermeiden?

Komplikationen in der Endodontie umfassen patientenbezogene und zahnbezogene, biologische, anatomisch-morphologische sowie technische und instrumentenbezogene Faktoren im Rahmen der initialen endodontischen

Therapie, aber auch im Rahmen der Revisionsbehandlung. Komplikationsmanagement in der Endodontie bedeutet neben der Berücksichtigung patientenbezogener Faktoren und behandlerbezogener Faktoren (Spezialisierung, Erfahrung) eine sorgfältige Infektionskontrolle (Anlegen von Kofferdam), eine bakterien-dichte prä-endodontische Restauration, die Entfernung von Überhängen und Restgewebe bei Präparation der endodontischen Zugangskavität, das Aufsuchen sowie die Aufbereitung aller Wurzelkanäle auf Arbeitslänge, die Vermeidung von Perforationen und Stufen, die dichte Obturation und letztendlich eine bakterien-dichte und klinisch langlebige post-endodontische Restauration.

Im Vorfeld des Therapieentscheides für eine Wurzelkanalbehandlung steht immer die Frage, ob der betreffende Zahn im Rahmen des Gesamtkonzeptes und der individuellen Patientensituation erhaltungswürdig ist. Zu bedenken sind dabei neben dem Allgemeinzustand des Patienten auch die parodontale Situation sowie Möglichkeiten der restaurativen Versorgung. Als Alternative steht die Extraktion ohne bzw. mit einem Ersatz in Form einer prothetischen Lösung oder eines Implantates zur Diskussion.

2 Komplikationsmanagement – patientenbezogene Faktoren

2.1 Allgemeinmedizinische Komplikationen

Es ist heute Tatsache, dass die Bevölkerung zunehmend älter wird (Statistisches Bundesamt, <https://www.destatis.de>) und mehr Senioren mehr eigene Zähne auf-

weisen (Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS IV, 2005). Wie bei Patienten aller Altersstufen stehen der Wunsch nach dem Erhalt der eigenen Zähne und die Vermeidung aufwändiger prothetischer oder implantologischer Maßnahmen im Vordergrund. Gleichzeitig steigt aber auch das Behandlungsrisiko bei bestehenden Grunderkrankungen – auch im Rahmen endodontischer Behandlungen. In diesem Zusammenhang wird die Korrelation odontogener Erkrankungen mit dem Auftreten oder der Exazerbation systemischer Erkrankungen unter aktuellen Gesichtspunkten neu und kontrovers diskutiert.

Im Rahmen endodontischer Maßnahmen kann es zu einer transitorischen Bakteriämie kommen, die bei entsprechender Disposition des Patienten unter allgemeinmedizinischen Gesichtspunkten eine antibiotische Abschirmung erfordert. Murray et al. [66] geben in einer Literaturübersicht die Inzidenz von transitorischen Bakteriämien im Rahmen zahnärztlicher Eingriffe mit 34–100 % an. Bei endodontischen Eingriffen liegt die Inzidenz für eine transitorische Bakteriämie bei 31–54 % [21]. Mittels Phänotypisierung und Genotypisierung konnten die in der Blutbahn identifizierten Mikroorganismen mit den im Wurzelkanalsystem vorhandenen Bakterien korreliert werden [20]. Das Risiko der transitorischen Bakteriämie besteht nach Murray et al. [66] dabei nicht nur bei Überinstrumentierung, sondern auch bei der solitären intrakanalären Instrumentierung. Vor diesem Hintergrund erscheint eine antibiotische Abschirmung im Rahmen einer endodontischen Behandlung bei Grunderkrankungen bzw. Dispositionen der Patienten wie kongenitalen Herzvitien, Rheumatischem Fieber, Zustand nach Radiatio, oder bei

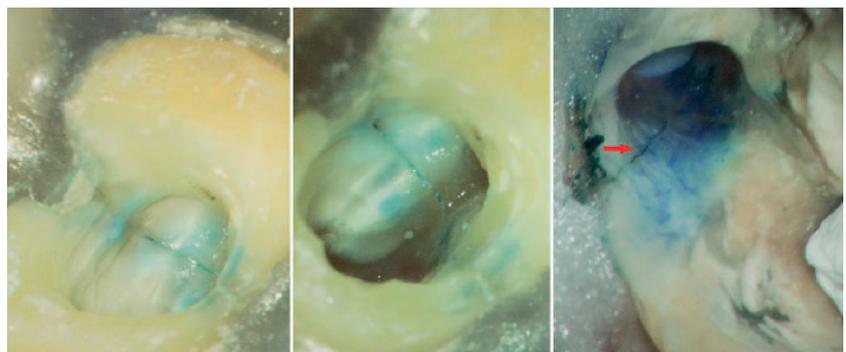


Abbildung 1 Detektion von Infrakturen durch Darstellung mit Methylenblau.
Figure 1 Detection of fractures of the hard tooth tissues with methylen blue.

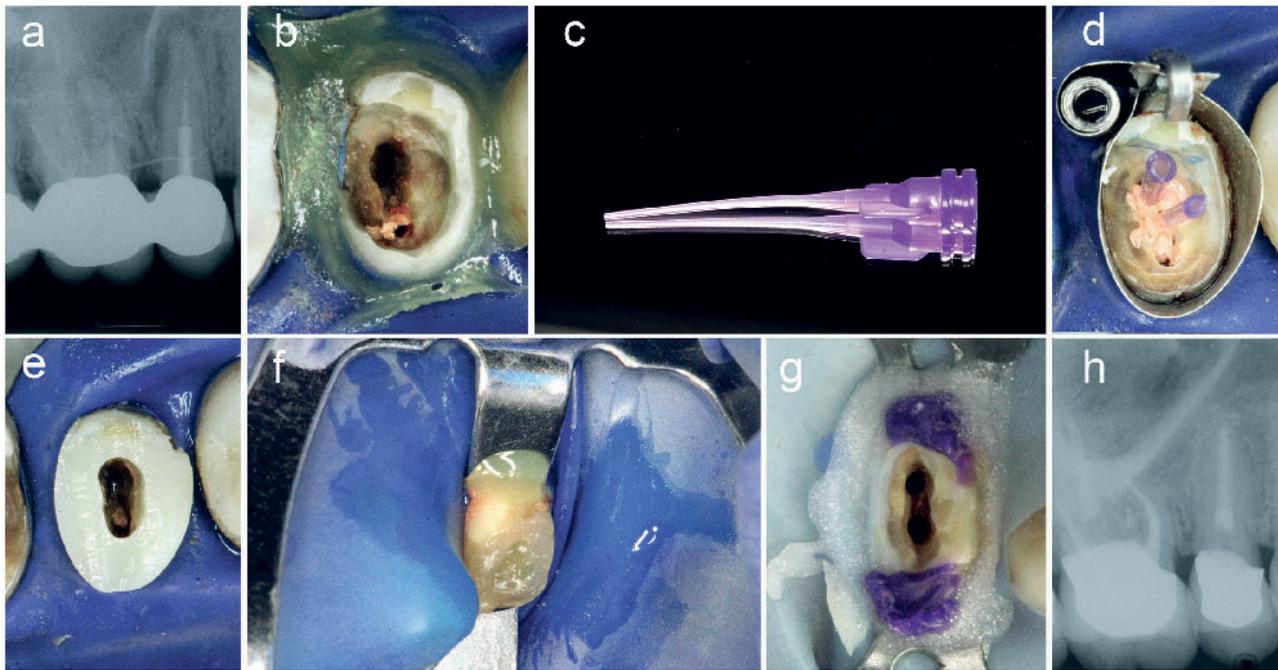


Abbildung 2 Prä-endodontische Aufbaufüllung in Adhäsivtechnik zur Sicherstellung eines kontaminationsfreien Arbeitsgebietes. **a)** Prä-operatives Röntgenbild; **b)** Zustand nach Stift- und Kariesentfernung; **c)** und **d)** Capillary Tip (Ultradent) als Platzhalter für den Zugang zum Wurzelkanal; **e)** provisorischer Aufbau in Adhäsivtechnik; **f)** und **g)** Kofferdam, vestibulär und oral Kompositretentionen für die Kofferdamklammer und individuelle Abdichtung mit OpalDam (Ultradent); **h)** postoperatives Röntgenbild nach 2 Jahren.

Figure 2 Adhesive, pre-endodontic restoration to avoid contamination during endodontic treatment: **a)** pre-operative x-ray; **b)** situation after removal of caries and endodontic post; **c)** and **d)** Capillary Tip (Ultradent) to keep the root canal space open; **e)** provisional adhesive restoration; **f)** and **g)** rubberdam with vestibular and oral composite retentions to secure the rubber dam bracket and individual sealing of the area around the tooth with OpalDam (Ultradent; **h)** post-operative x-ray after 2 years.

Patienten mit chirurgisch korrigierten Herz- und Gefäßerkrankungen (bis 6 Monate post-OP, bei Implantation von Fremdmaterial – Herzklappen, oder bei operierten Herzfehlern mit Restbefund) nach konsiliarischer Rücksprache mit den behandelnden Ärzten indiziert.

Interessant erscheint es im vorliegenden Rahmen, den Zusammenhang zwischen möglichen Bakteriämien bei endodontischer Therapie und hämatogenen Infektionen von Gelenkprothesen darzustellen, da dieser Aspekt in der Literatur höchst kontrovers diskutiert wird. Bisher wurde von der American Academy of Orthopedic Surgeons (2009) eine antibiotische Abschirmung vor invasiven Eingriffen, die mit der Gefahr einer Bakteriämie einhergehen, bei Risikogruppen nachdrücklich empfohlen, um das Risiko hämatogener Infektionen von Gelenkprothesen gering zu halten. Als Risikogruppen wurden immunsupprimierte Patienten, Patienten mit entzündlichen Arthropathien, Patienten nach Infektion einer Gelenkprothese, sowie Patienten mit Zustand nach Radiatio, mit insulinabhängigem (Typ I) Diabetes oder mit ei-

ner Tumorerkrankung hervorgehoben [54]. Diese Empfehlungen werden von *Berbari et al.* [7] relativiert. Die Autoren geben an, dass die Infektionen der Endoprothesen nicht mit den vorausgegangenen zahnärztlichen Behandlungen korreliert werden konnten und eine prophylaktische antibiotische Abschirmung nicht zu einer statistisch signifikanten Reduktion eines Risikos für die hämatologische Infektion einer Endoprothese führte. *Berbari et al.* [7] führen – unterstützt von *Zimmerli et al.* [102] – aus, dass im Einklang mit den aktuellen Richtlinien (2012) der American Academy of Orthopaedic Surgeons und der American Dental Association [1] eine prophylaktische Antibiose vor zahnärztlichen Eingriffen nicht bei allen Patienten mit Endoprothesen grundsätzlich erforderlich ist. Vielmehr weisen die Autoren auf die Bedeutung einer suffizienten Mundhygiene und regelmäßiger, professioneller Zahnreinigung in kürzeren Recall-Abständen hin. Diese Maßnahmen hatten in der durchgeführten Untersuchung einen höheren Einfluss auf die Inzidenz der Infektion.

Schlussfolgernd kann man auf der Basis dieser Ausführungen die Konsequenz ziehen, dass vor allem bei älteren Patienten mit entsprechender Disposition vor der Durchführung der endodontischen Behandlung in Absprache mit dem betreuenden Hausarzt oder Facharzt ein individuelles Risikoprofil erstellt werden sollte. Auf der Basis dieses Risikoprofils kann die Indikation für oder gegen eine Wurzelkanalbehandlung aufgrund möglicher patientenbezogener Risikofaktoren gestellt werden.

3 Komplikationsmanagement – Ausstattungs- und instrumentenbezogene Faktoren

Risikomanagement in der Endodontie erfordert neben einer fundierten klinischen Erfahrung oder Spezialisierung auch eine entsprechende instrumentelle Ausstattung. Im Vordergrund dieses Aspektes bei der endodontischen Behandlung stehen Vergrößerungshilfen wie Lupenbrillen und Dentalmi-

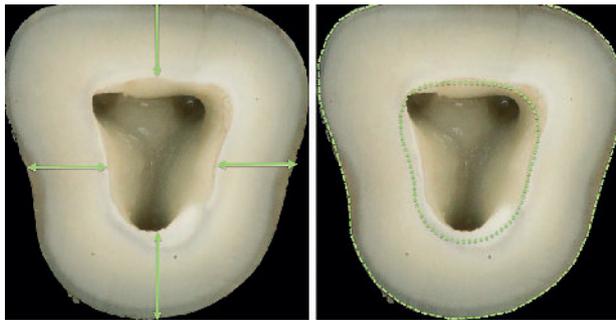


Abbildung 3 Zentrale Lage des Pulpakavums auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze (bei prothetisch versorgten Zähnen: Präparations-grenze): Die Wände der Pulpakammer verlaufen parallel zur äußeren Oberfläche des Zahnes und die Wandstärke zwischen Pulpakavum und Zahnoberfläche ist über den gesamten Umfang konstant.

Figure 3 On the level of the cemento-enamel-junction (teeth with crown preparations: cervical preparation borderline), the pulp chamber is located centrally within the tooth, pulp chamber walls are parallel to external tooth surfaces and the thickness of the dentin between pulp chamber wall and external surface is constant.

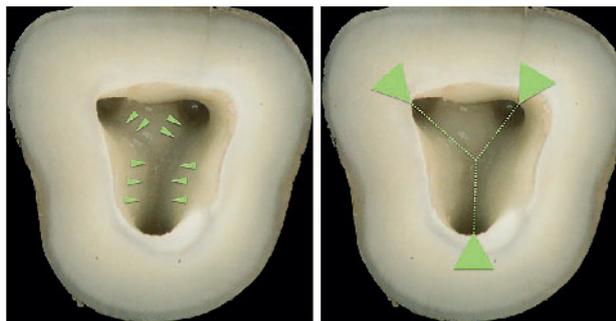


Abbildung 5 Die Wurzelkanäleingänge liegen am Ende der Fusionslinien und stets in den Winkeln der Übergänge zwischen Pulpakammerboden und Dentinwand.

Figure 5 Root canal entrances are situated at the end of the fusion lines and always within the angles formed between pulp chamber floor and circumferential dentin.

kroskop einerseits sowie aktuelle Instrumentensysteme zur manuellen und maschinellen Aufbereitung, Desinfektion und Obturation andererseits.

3.1 Lupenbrillen und Dentalmikroskop

Kann eine Wurzelkanalbehandlung ausschließlich unter der Verwendung einer Lupenbrille oder eines Dentalmikroskops erfolgreich durchgeführt werden?

Die Einführung von Lupenbrille und Dentalmikroskop haben die moderne Endodontie wesentlich beeinflusst.

Der Einsatz optischer Vergrößerungshilfen in der Endodontie bringt Vorteile mit sich, die die Prognose einer Wurzelkanalbehandlung verbessern und in vielen Fällen ein Komplikationsmanagement bei endodontischen Behandlungen erst möglich machen [27, 89]. Vergrößerung und optimale Ausleuchtung des Arbeitsfeldes erlauben eine erweiterte visuelle Kontrolle und ermöglichen es, in Kombination mit zusätzlicher instrumenteller Ausstattung (z.B. Schall- oder Ultraschallgeräte) und speziell für das Arbeiten mit dem Dentalmikroskop entwickelten Instrumenten

- akzessorische oder durch Dentikel bzw. Sklerotierungen verengte oder

gesamthaft obliterierte Kanäle darzustellen sowie

- Abweichungen von der Kanalgeometrie in Form von unerwarteten Wurzelteilungen oder Einziehungen festzustellen,
- Perforationen zu detektieren und unter optischer Vergrößerung zu decken,
- frakturierte Instrumente zu entfernen,
- die Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanalendents zu evaluieren sowie
- Therapiesicherheit bei längsfrakturierten Zähnen zu erreichen.

Eichenberger et al. [24, 25] und Perrin et al. [77] zeigten, dass sich die Sehschärfe unabhängig von Alter oder Sehkraft



Abbildung 4a) Zerstörung der Orientierungshilfen am Pulpakammerboden durch ungeeignetes Trepanationsinstrumentarium. **b)** Beispiel: mögliche Instrumente zur Eröffnung und Präparation der Zugangskavität. **c)** Orientierungshilfen am Boden der Pulpakammer: dunkle Fusionslinien mit Kanäleingängen abgegrenzt zum hellen, zirkumferenten Dentin.

Figure 4a) Destruction of the "landmarks" along the pulp chamber floor due to unsuitable instruments used for access cavity preparation. **b)** Suitable instruments for access cavity preparation. **c)** "Landmarks" along the cavity floor: darker fusion lines of roots with canal entrances at their ends as compared to lighter surrounding dentin.

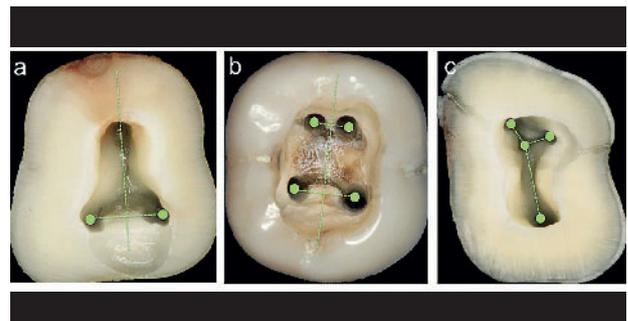


Abbildung 6a) und b) Unterkiefermolar: symmetrische Lage der Wurzelkanäleingänge zu einer gedachten mesio-distalen Linie. **c)** Diese Gesetzmäßigkeit weisen Oberkiefermolaren nicht auf.

Figure 6a) and b) Lower molar: root canal access to mesial canals is symmetrical to an assumed mesio-distal line. **c)** This does not apply for upper molars.

durch den Einsatz von Vergrößerungshilfen signifikant verbessert. Dies resultiert in einer Optimierung der Therapiedurchführung durch Vergrößerungshilfen und das Dentalmikroskop an sich, unterstützt aber auch im Vorfeld die Absicherung der Therapieentscheidung bezüglich Kontraindikationen zur endodontischen Behandlung (z.B. Detektion von Infrakturen o.ä.) (Abb. 1) oder eine fundierte Versagensanalyse vor der Revision [89].

3.2 Instrumentelle Zusatzausstattung

Die Weiterentwicklung der instrumentellen Zusatzausstattung wie digitale Röntgentechnik, Einsatz der digitalen Volumentomographie, maschinelle Aufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten, Einsatz ultraschall- und schallgetriebener Instrumente im Rahmen von Aufbereitung und Desinfektion hat die Möglichkeiten und Grenzen der endodontischen Behandlung in Diagnostik und Therapie in den letzten Jahren stark erweitert [23, 70].

Für das Arbeiten mit dem Dentalmikroskop muss die instrumentelle Zusatzausstattung so konzipiert werden, dass durch überlange Schäfte und entsprechend grazile Arbeitenden dem Arbeiten mit dem Dentalmikroskop zum einen und der Darstellung und Erreichbarkeit der grazilen Strukturen zum anderen Rechnung getragen wird. Das Spektrum umfasst heute unter anderem Instrumente mit überlangen Handgriffen (Micro-Opener & Micro-Debrider, Dentsply Maillefer) zur Exploration graziler Kanäle oder akzessorischer Kanäle, überlange Rosenbohrer (Longneck Rosenbohrer LN Bur, Dentsply DeTrey; Mani MI Stainless Burs 28 mm, Mounce) sowie überlange Gates Bohrer und Schall- und Ultraschall-Ansätze für die KaVo Sonic-Flex- und EMS Piezon Master Systeme, diamantiert oder lamelliert, zur Darstellung der Wurzelkanäle und Aufbereitung der Eingänge im Rahmen der Präparation der endodontischen Zugangskavität. Spezielle Hand- und maschinelle Instrumente erleichtern den Zugang und die mechanische Aufbereitung durch die Präparation des Gleitpfades.

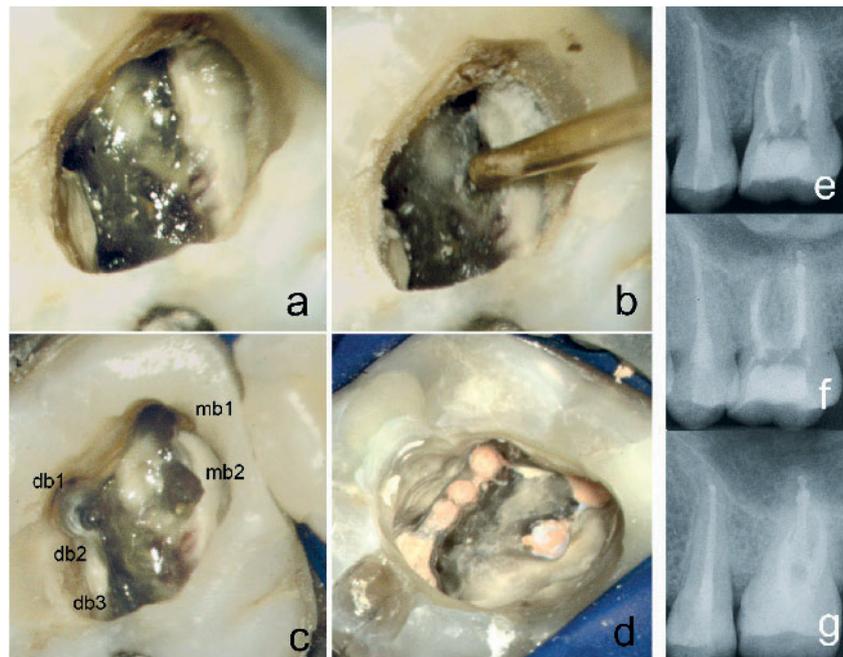


Abbildung 7 Individuelle Morphologie eines OK Molaren: **a**) Zustand nach Präparation der Zugangskavität; **b**) Darstellung des mb2 mit Ultraschall; **c**) db2 und db3 entlang der Fusionslinie zwischen disto-bukkalem und palatinalen Kanal; **d**) Zustand nach Obturation aller Kanäle; **e**) Röntgenkontrollaufnahme orthograd; **f**) Röntgenkontrollaufnahme distal-exzentrisch; **g**) Röntgenbefund nach 6 Jahren.

Figure 7 Individual morphology of an upper molar: **a**) access to mb2 with sonic tip; **c**) along the fusion line between the distal and the palatinal canal, an accessory db2 and db3 are identified; **d**) situation after obturation of all six canals; **e**) x-ray orthograde; **f**) x-ray from distal aspect; **g**) radiologic situation after six years.

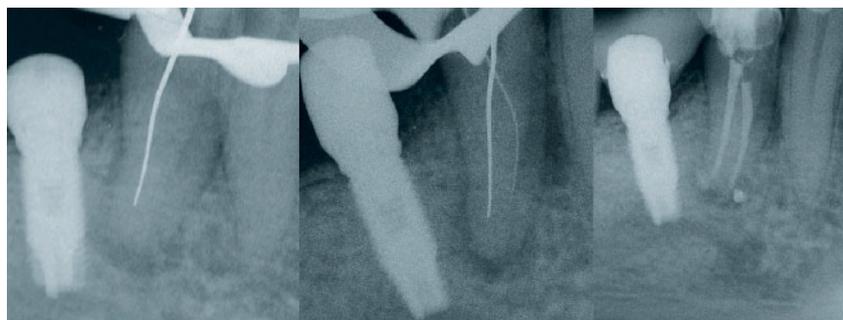


Abbildung 8 Asymmetrischer Verlauf des Messinstrumentes zur Wurzelform im Röntgenbild als Indikator für einen weiteren Kanal.

Figure 8 The instrument (silver point) is not situated centrally within the root canal but there is an asymmetry. Therefore, a second canal must be present.

4 Komplikationsmanagement – zahnbezogene Faktoren

Die weitaus meisten „Stolpersteine“ sind im Bereich der zahnbezogenen Faktoren zu finden. Hier können bereits bei der prä-endodontischen Restauration sowie bei der Präparation der Zugangskavität und der Darstellung der Wurzelkanäle Probleme vermieden werden, die durch eine in-

suffiziente Restauration oder provisorische Versorgung, mangelnde Infektionskontrolle durch das Nicht-Anlegen von Kofferdam, die Nicht-Beachtung von Gesetzmäßigkeiten bei Trepanation, Präparation der Zugangskavität und Darstellung der Wurzelkanäle, Fehler bei der Bestimmung der Arbeitslänge sowie durch Blockierungen, Stufen, Kanal-Verlagerungen und Perforationen entstehen können.

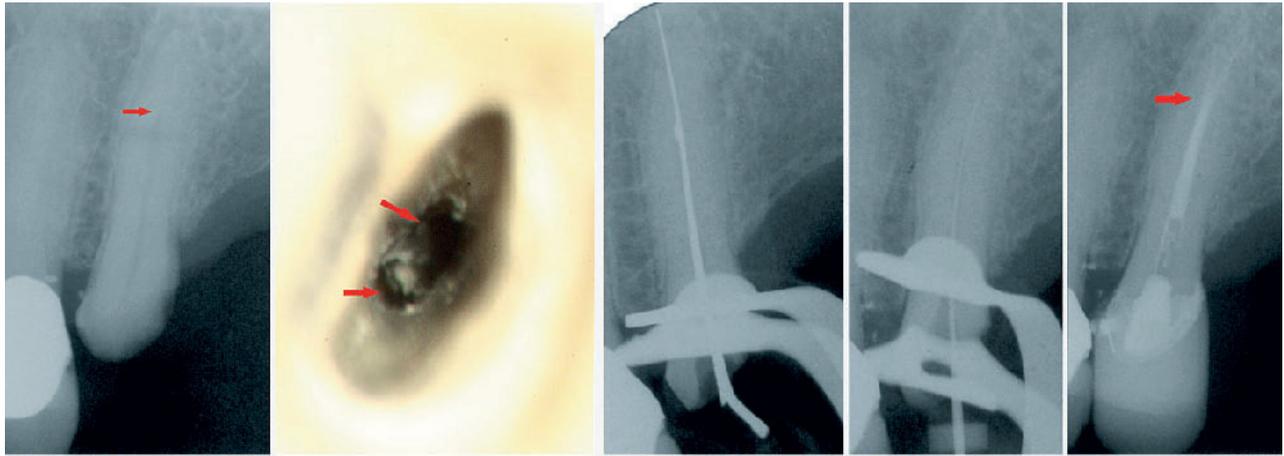


Abbildung 9 Optischer „Stopp“ im Wurzelkanal und asymmetrischer Verlauf der Messinstrumente (Silberstifte): Teilung des Wurzelkanals im apikalen Wurzel Drittel (Pfeile).

Figure 9 Optical „Stop“ within the root canal and asymmetrical localisation of the measuring instruments: splitting of the root canals within the apical root canal third (arrows).



Abbildung 10 Darstellung des 4. Wurzelkanals (mb2) bei Zahn 17.

Figure 10 Preparation of access to mb2 (4th canal) within tooth 17.

Abbildung 11 Unterkiefer Frontzähne: Zahn 42 mit zwei Kanaleingängen in vestibulo-oralen Richtung (rechts: Ausschnitt), Zahn 41 mit einem Kanaleingang.

Figure 11 Lower incisors: tooth 42 with two root canal entrances in vestibulo-oral direction (right: magnification); tooth 41 with one central canal.

4.1 Einfluss einer bakteriendichten prä- und post-endodontischen Restauration

Ray und Trope [79] konnten schon 1995 eine positive Korrelation zwischen einer suffizienten endodontischen Behandlung und einer suffizienten koronalen Restauration darstellen. Die Qualität der intermediären und der definitiven Versorgung ist ein wesentlicher Ko-Faktor für den Erfolg einer endodontischen Behandlung [26, 35, 67–69]. Im Rahmen der prä-endodontischen Versorgung wird einer möglichst minimal-invasiven Therapie unter Einsatz der Adhäsivtechnik der Vorzug gegeben [83, 84] (Abb. 2). Die definitive Versorgung nach der endodontischen Behandlung soll zur Vermeidung einer Reinfektion ohne Wartezeiten unmittelbar nach erfolgreichem Abschluss der Wurzelkanalfüllungstherapie erfolgen [22, 30, 49, 59, 91]. Ziele der definitiven Versor-

gung sind die langfristige Versiegelung des Wurzelkanalsystems, die Wiederherstellung der Funktion und die Reduktion des Versagensrisikos (Frakturen/Infrakturen). Im Rahmen der post-endodontischen Versorgung richtet sich die Therapieentscheidung nach dem Destruktionsgrad des Zahnes und der verfügbaren Restzahnhartsubstanz. Auch hier ermöglicht die Adhäsivtechnik sowohl im Rahmen der adhäsiven Füllungstherapie, als auch in Verbindung mit direkten, adhäsiv eingegliederten Stiftaufbauten, sowie adhäsiv befestigten, indirekten Einzelzahnrestorationen eine langfristig stabile, bakteriendichte Restauration endodontisch behandelter Zähne [49, 60, 95].

Eine vermeintliche Versprödung der Zahnhartsubstanzen durch Veränderung der physikalischen Eigenschaften des Dentins im Rahmen der endodontischen Behandlung ist keine Komplikation und ist nicht Ursache für eine Erhöhung der Frak-

turanfälligkeit nach Wurzelkanalbehandlung [22, 32, 80, 81]. Vielmehr ist es die mechanische Schwächung des Wurzelkanal-dentins im Rahmen von Trepanation, Aufbereitung und Obturation, die langfristig oder auch schon nach kurzer Zeit zu Mikrorissen und Infrakturen führen kann [15, 22]. Der Verlust der Mechanorezeptoren des Endodonts und die Gefahr einer damit verbundenen Überbelastung bei der Mastikation stellen ein weiteres Risiko dar.

4.2 Präparation der Zugangskavität und Darstellung aller Wurzelkanäleingänge

Die erste Hürde im Rahmen der endodontischen Behandlung ist die Präparation der Zugangskavität. Probleme entstehen dann, wenn Kippungen und Stellungsanomalien vorliegen, wenn die behandlungsbedürftigen Zähne prothetisch versorgt sind oder

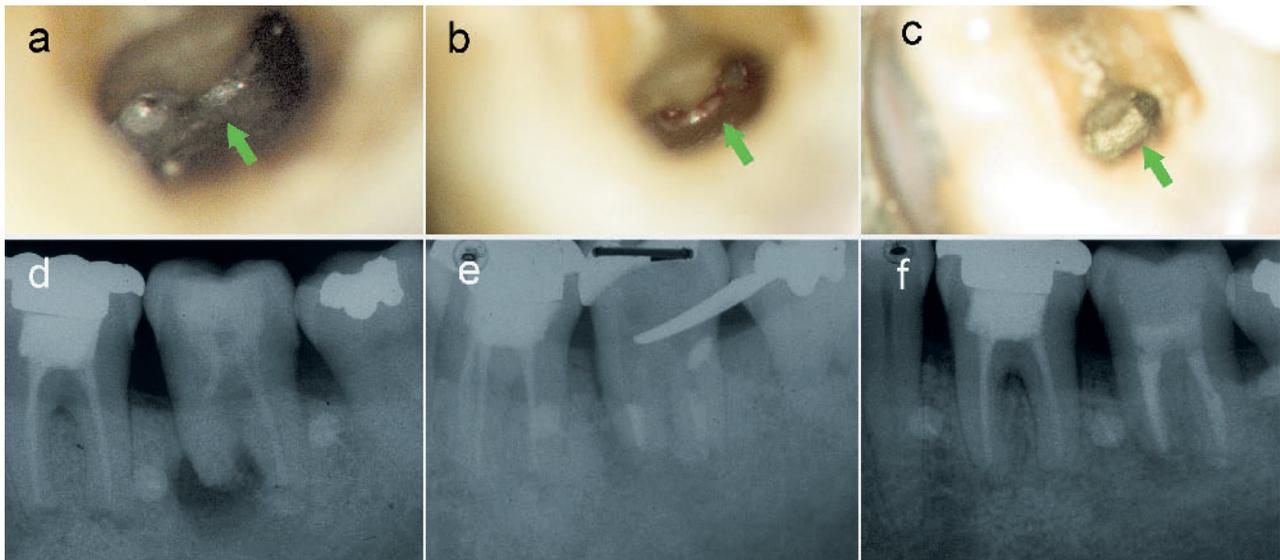


Abbildung 12 Akzessorischer Kanal in der mesialen Wurzel Zahn 37 nach zweifacher Wurzelspitzenresektion und Guided Bone Regeneration (GBR) alio loco; **a)** akzessorischer, medialer Kanal in der mesialen Wurzel (Pfeil); **b)** vollständige Entfernung der Septen wegen persistierender Entzündungszeichen; **c)** apikaler MTA Plug; **d)** Übersichtsaufnahme vor Behandlungsbeginn; **e)** apikale Obturation mit MTA; **f)** WF Kontrolle nach 2 Jahren.

Figure 12 Additional canal in the mesial root of tooth 37 after repeated root resection and guided-bone-regeneration (GBR) alio loco; **a)** additional medial canal within the mesial root (arrow); **b)** complete removal of septum between canals due to persisting inflammation; **c)** apical MTA plug; **d)** x-ray taken prior to secondary treatment; **e)** apical obturation with MTA; **f)** x-ray 2 years after treatment.

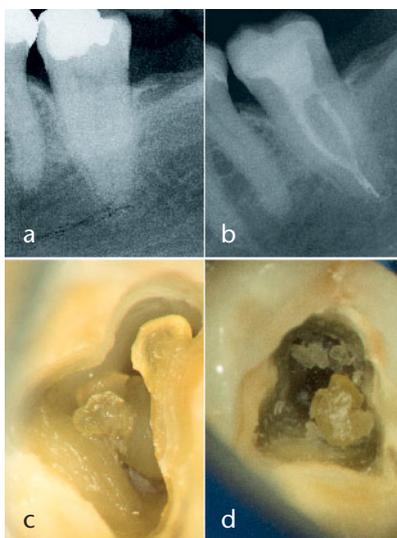


Abbildung 13 Dentikel können bereits im Röntgenbild identifiziert werden (oben links, **a**). Beispiele für Dentikel, die das Lumen des Pulpakavums einengen und den Zugang zu den Wurzelkanälen erschweren (unten, **c, d**). Röntgenaufnahme nach Abschluss der Behandlung. (oben rechts, **b**).

Figure 13 Pulp stones may already be identified in the diagnostic x-ray (upper left, **a**). Examples of pulp stones impeding access to the pulp chamber and root canals (lower images, **c, d**). X-ray following root canal treatment and final restoration (upper right, **b**).

wenn ungeeignete Instrumente zur Trepanation verwendet werden.

Eine korrekte Zugangskavität ist die Basis für alle folgenden endodontischen Maßnahmen. Sie sollte ausreichend extendiert sein, um einen geraden Zugang zu den Kanälen zu ermöglichen, gleichzeitig aber die Zahnhartsubstanz nicht übermäßig schwächen. Eine Röntgenaufnahme, die die präoperative Situation vor der Trepanation darstellt ist erforderlich, um die Tiefe der Trepanation und die Achsrichtung des zu trepanierenden Zahnes abzuschätzen. Nach *Krasner* und *Rankow* [50] gibt es einige Gesetzmäßigkeiten, die – auch bei mit indirekten Restaurationen versorgten Zähnen – eine Lokalisation der Pulpakammer erleichtern und helfen, eine akzidentelle Perforation zu vermeiden. So liegt auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze (SZG), die auch nach prothetischer Versorgung noch nachvollziehbar ist, die Pulpakammer immer im Zentrum des Zahnes, die Wände der Pulpakammer verlaufen parallel zur äußeren Oberfläche des Zahnes und die Wandstärke zwischen Pulpakavum und Zahnoberfläche ist auf der Höhe der SZG über den gesamten Umfang konstant [50] (Abb. 3).

Das Auffinden der Wurzelkanäle wird durch natürliche und gesetzmäßige Orientierungshilfen (Farbverlauf, „Landkarte“) am Boden der Pulpakammer erleichtert [50]. Dazu ist es notwendig, diese Morphologie nicht durch ungeeignetes Instrumentarium bei der Trepanation wie beispielsweise Diamantzylinder mit belegter Stirnfläche zu zerstören (Abb. 4a). Während das zu trepanierende Material die Auswahl des Instrumentes zur Präparation der Zugangskavität bestimmt (Transmetal, Dentsply DeTrey; Endo-Access Bur, Dentsply; speziell für Zirkondioxid: ZR6801.314.10, Komet) kommen nach der Eröffnung des Pulpakavums Schleifkörper zum Einsatz, die an der Instrumentenspitze nicht belegt sind (Endo-Z-Bur, Dentsply oder LA Axxess Burs, Sybron Endo). Sie erhalten die Morphologie des Pulpakammerbodens und erleichtern damit das Auffinden der Wurzelkanäle nach den Regeln von *Krasner* und *Rankow* [50, 92] (Abb. 4b). So hat der Boden des Pulpakavums im Vergleich zu den Wänden eine dunklere Farbe, bedingt durch die entwicklungsbedingten Verschmelzungen der Wurzeln. Dieser Farbunterschied grenzt Pulpakammerboden und zirkumferente Dentinwände scharf gegeneinander ab, im Bereich des helleren, zirkumferenten Dentins sollte

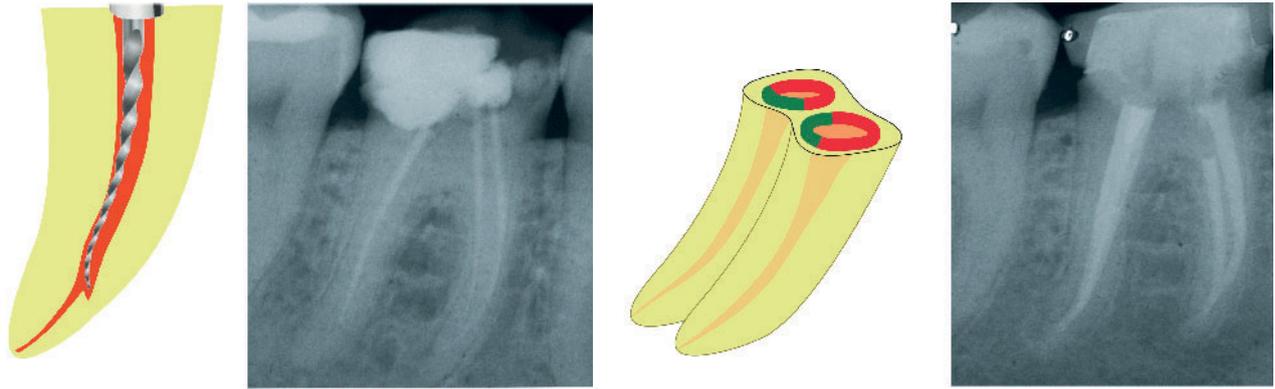


Abbildung 14 Mit einer an der Instrumentenspitze stark vorgebogenen K-Handfeile wird die Stufe sondiert, anschließend das Instrument um 180 Grad gedreht und der originale Kanalverlauf wieder sondiert. Der ursprüngliche Kanalverlauf ist aufgrund der Rigidität der initial verwendeten Instrumente im Bereich der Innenkurvatur sowohl in mesio-distaler als auch in oral-vestibulärer Richtung zu erwarten (grüne Bereiche).

Figure 14 With a K-handfile bent at the instrument tip the ledge is identified. Subsequently, the file is turned for 180 degrees and the original canal is explored. Due to the rigidity of the initial instrument responsible for the preparation of the ledge, the original canal must be anticipated in the area of the internal curvature in mesio-distal as well as in oral-vestibular direction (green areas).

nicht nach Kanaleingängen gesucht werden (cave: Perforation) [50] (Abb. 4c). Die Wurzelkanaleingänge liegen am Ende dieser Entwicklungslinien am Pulpakammerboden und stets in den Winkeln der Übergänge zwischen Pulpakammerboden und Dentinwand [50] (Abb. 5). Weiterhin sind Reparaturdentin oder Kalzifikationen heller als der Boden des Pulpakavums und verdecken diesen und die Wurzelkanaleingänge bei Obliterationen häufig. Bei Unterkiefermolaren gilt, dass die Wurzelkanaleingänge jeweils in gleichem Abstand zu einer in mesio-distaler Richtung gezogenen Linie durch die Mitte des Pulpakammerbodens und senkrecht zu dieser gedachten Linie auf einer Linie liegen. Aus diesen Gesetzmäßigkeiten kann man anhand der vorgefundenen Geometrie gegebenenfalls das Vorhandensein eines 2., distalen Wurzelkanals ableiten. Beim ersten Oberkiefermolaren ergibt sich aus der Lage der Verschmelzungslinien der Wurzeln entlang des Pulpakammerbodens auch die mögliche Lage des Eingangs des mb2 [50] (Abb. 6).

4.3 Das Auffinden aller Wurzelkanäle

Für den langfristigen Erfolg einer endodontischen Behandlung ist es von Bedeutung, möglichst das gesamte Wurzelkanalsystem mechanisch aufzubereiten, durch den Einsatz von Spüllösungen zu desinfizieren und durch eine entsprechende Obturation bakteriendicht zu verschließen. Ein Übersehen von (akzessorischen) Kanälen oder deren insuffi-

ziente Aufbereitung können zu persistierenden Entzündungen oder zu Flare-ups führen und eine Revision erforderlich machen (Abb. 7).

Schon die Übersichtsaufnahme kann Hinweise auf mögliche Besonderheiten und eine abweichende Anzahl von Wurzelkanälen geben: hierzu zählen z.B. eine im Röntgenbild erkennbare exzentrische Lage des Wurzelkanals in der Wurzel (Abb. 8) oder ein vermeintlicher Stopp des Kanallumens bei einem scheinbar gut nachvollziehbaren Wurzelkanal im koronalen Anteil (Abb. 9). Bei Molaren können doppelte Außenkontouren ein Hinweis auf das Vorhandensein eines weiteren Wurzelkanals sein. Immer unterstützen zusätzliche Röntgenbilder aus einer anderen Projektionsrichtung diese Annahmen. In der Literatur finden sich Angaben zur Häufigkeit der möglichen Anzahl von Wurzelkanälen. Bemerkenswert ist, dass der zweite obere Prämolare in 28–51 % zwei Kanäle aufweist, und dass der erste und zweite obere Prämolare zu 1–6 % auch drei Kanäle aufweisen können, wobei sich in der Regel zwei Kanäle bukkal und ein Kanal palatinal befinden [44]. Nach *Hülsmann* zählen vor allem erste obere Molaren (95 %: 4 Kanäle) und Unterkiefer Frontzähne (20–30 %: 2 Kanäle) zu den kritischen Zähnen in Hinblick auf akzessorische Wurzelkanäle [42]. Der erste obere Molar weist nach Angaben in der Literatur [44] in bis zu 95 % vier Kanäle auf, wobei der zusätzliche Kanal ein zweiter Kanal in der mesio-bukkaler Wurzel ist (mb2) und sich in der Regel entlang der Entwicklungslinie

zwischen mesio-bukkaler und palatinaler Wurzel findet (Abb. 10). In ca. 2 % weist der Kanal in der mesio-bukkaler Wurzel oberer erster Molaren eine c-förmige Konfiguration auf. Bei Unterkiefer-Frontzähnen finden sich in bis zu 40 % zwei Kanäle in vestibulo-oraler Richtung. Bei der Darstellung der Wurzelkanäle im Unterkiefer Frontzahnbereich sollte dem Rechnung getragen werden (Abb. 11). Gegebenenfalls kann hier eine Trepanation von vestibulär erforderlich sein, um einen geraden Zugang zu den Kanälen zu erreichen. Nicht dargestellte und nicht-aufbereitete (akzessorische) Kanäle beinhalten das Risiko einer Reinfektion und der Notwendigkeit einer Revisionsbehandlung [87] (Abb. 12).

4.4 Die chemo-mechanische Aufbereitung

Paqué et al. und *Peters* et al. [72, 73, 78] haben anhand von dreidimensionalen Darstellungen des Wurzelkanalsystems durch μ CT-Darstellungen die Komplexität des Wurzelkanalsystems beschrieben und die Schwierigkeiten und Grenzen der mechanischen Aufbereitung solcher komplexer Systeme aufgezeigt. Im Rahmen der Aufbereitung und Desinfektion des komplexen Wurzelkanalsystems kommt der chemischen Aufbereitung der Wurzelkanäle mit entsprechender Modifikationen des Wurzelkanaldentins durch verschiedene Spüllösungen und deren Kombination eine besondere Bedeutung zu [39, 40, 72, 101]. Durch Einsatz unterschiedlicher

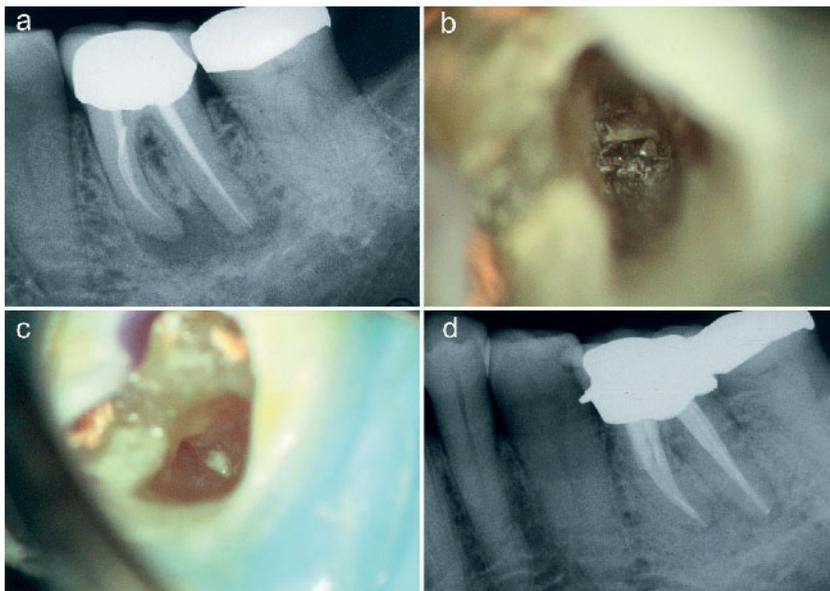


Abbildung 15a) Fragment im mesio-bukkalen Kanal Zahn 36 mit periradikulären Veränderungen mesial und distal; **b)** mit Ultraschallspitzen freigelegtes Fragment eines Nickel-Titan Instrumentes; **c)** Wurzelkanal nach vollständiger Fragmententfernung und Aufbereitung; **d)** Röntgenkontrolle 12 Monate nach Sekundärbehandlung: apikale Läsionen befinden sich in Abheilung.

Figure 15a) Fragment of an instrument in the mesio-buccal canal of tooth 36 with periradicular lesions mesial and distal; **b)** sounding and exposure of fragment with sonic device; **c)** root canal after complete removal of fragment and root canal preparation; **d)** x-ray one year after secondary treatment: apical lesions are healing.

Spülprotokolle kann eine Desinfektion auch in mechanisch nicht aufbereitbaren Arealen des Wurzelkanalsystems erreicht werden. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass die Mikroorganismen sich im Wurzelkanalsystem zu einem Biofilm organisieren und so gegenüber antimikrobiellen Agenzien resistenter sind als in ihrer planktonischen Form.

Natriumhypochlorit (NaOCl) wirkt antibakteriell und ist durch seine gewebeauflösende Wirkung in der Lage, den Biofilm zu eliminieren. Die Verlängerung der Einwirkzeiten im Kanal, ein ausreichendes Spülvolumen und dessen häufiger Austausch, Sicherstellung der Eindringtiefe der Kanüle (Verhältnis Durchmesser der Spülkanüle und Aufbereitungsgröße beachten), Verwendung von Kanülen mit lateraler Öffnung (z.B. Max-i-Probe, Dentsply Rinn), Temperaturerhöhung der Spüllösung sowie Aktivierung der Spüllösung durch Ultraschall (cave: Stufenbildung, auf freies Schwingen der Ultraschallfeile achten) oder andere Systeme (RinsEndo, Dürr Dental AG: Druck-Saug-Spülung; Endo-Aktivator, Dentsply: hydrodynamische

Aktivierung durch oszillierende Polymeransätze; EndoVac, Sybronendo: Unterdruckspülsystem) bieten die Möglichkeit, die Effektivität von NaOCl auch bei Verwendung niedrigerer Konzentrationen zu erhöhen. Vor dem Hintergrund möglichen Überpressens der Spüllösungen in den periapikalen Bereich mit Gewebeerirritationen und Schmerzen als Komplikation muss der Auswahl der Spüllösungen, deren Konzentration und Applikation besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Vor allem bei der apikalen Aufbereitung muss eine Balance zwischen Sicherheit der Spüllösung und des Spülprozedere einerseits und Effizienz der Spüllösung andererseits gewahrt werden, um Komplikationen zu vermeiden. Die Verwendung von Luerlock-Spritzen und Kanülen verhindert Zwischenfälle beim Spülen durch Aufbau von zuviel Druck und Lösen der Kanüle. Dem trägt auch eine kontinuierliche Bewegung der Kanüle im Kanallumen Rechnung, um ein Verklemmen der Kanüle im Kanal und damit das Überpressen von NaOCl zu vermeiden.

Im Rahmen aktueller Spülkonzepte wird im Anschluss an die chemo-mecha-

nische Aufbereitung eine Entfernung der Schmierschicht, die auf allen bearbeiteten Oberflächen des Wurzelkanals entsteht und die aus Dentindebris, Geweberesten, Bakterien und Instrumentenabrieb besteht, befürwortet. Dadurch sollen Mikroorganismen in der Schmierschicht eliminiert werden, das Eindringen von Spüllösungen und medikamentösen Einlagen in die Dentintubuli soll unterstützt werden und die Adaptation des Sealers sowie des Obturationsmaterials an die Kanalwände soll optimiert werden. Hierzu kommen Chelatbildner wie EDTA oder Zitronensäure zum Einsatz.

Wechselspülungen sollten aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Spüllösungen und deren Inaktivierung in der Folge vermieden werden. So inaktiviert EDTA Natriumhypochlorit. Des Weiteren bildet sich bei Wechselwirkung von Natriumhypochlorit mit Chlorhexidin ein rotbrauner Niederschlag, dessen chemische Natur und Wirkung in der Literatur kontrovers diskutiert werden. In jedem Falle wird vor der Verwendung von Chlorhexidin als Abschluss-Spülung nach Einsatz von NaOCl eine Zwischenspülung mit Zitronensäure, Alkohol oder Kochsalzlösung empfohlen [6, 14, 48, 65]. Ebenso muss bei nachfolgender Adhäsivtechnik dem polymerisations-inhibitorischen Effekt von NaOCl durch eine weitere Abschluss-Spülung mit Alkohol oder Kochsalzlösung Rechnung getragen werden.

Vor dem Hintergrund der Entwicklung von „single file“ Konzepten kommt der Einwirkzeit der Spüllösungen besondere Bedeutung zu, da diese häufig in Folge der zügigen mechanischen Aufbereitung nicht ausreichend ist und damit die effektive Desinfektion des Wurzelkanalsystems in Frage gestellt wird [39, 88, 101].

4.5 Die Darstellung und Aufbereitung obliterierter und verengter Kanäle

Physiologische und pathologische Veränderungen des Pulpa-Dentin-Komplexes resultieren in Umbauvorgängen innerhalb des Pulpakavums durch Reizdentinbildung, Sklerotisierungen und Ausbildung von Dentikeln (Abb. 13). Dadurch reduziert sich das Lumen des Pulpakavums, und bei einer endodontischen Behandlung kann dies das Auffinden der Kanäle gemäß der beschriebenen Gesetzmäßigkeiten erschweren, aber auch ihre Aufbereitung. Dies gilt



Abbildung 16 Zustand nach iatrogenen Perforation bei Suche nach den Wurzelkanälen außerhalb der Fusionslinien. Verschluss der Perforation mit ProRoot MTA und radiologische Kontrollen.

Figure 16 Situation after iatrogenic perforation during exploration for the root canals outside the fusion lines. MTA plug to close the perforation and radiological controls.

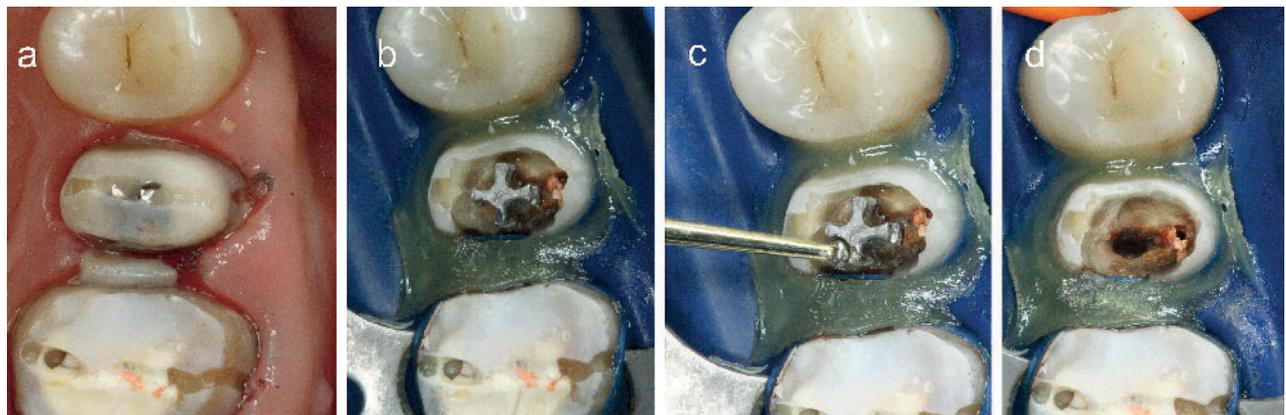


Abbildung 17 Freilegung und Entfernung eines zementierten Radix-Ankers: **a) und b)** Entfernung des Aufbaumaterials und des Zementes um den Stift mit Ultraschallspitzen; **c)** Lockerung des Stiftes mit nicht-diamantierter Ultraschallspitze (im Gegenuhrzeigersinn); **d)** nach Entfernung des gelockerten Stiftes.

Figure 17 Exposure and removal of a cemented metal post: **a) and b)** removal of the core built-up and luting material around the post with an ultrasonic tip; **c)** loosening of the post with an ultrasonic device (counter clockwise); **d)** after removal of the post.

auch für Gewebeappositionen und Obliterationen der Wurzelkanäle. Auch wenn die Wurzelkanäle im Röntgenbild obliteriert erscheinen findet sich nach *Kuyk* und *Walton* [53] histologisch noch ein Lumen mit dem entsprechenden Biofilm. Die Darstellung der Kanäle bei solchen anatomisch-morphologischen Verhältnissen ist mit einer erhöhten Gefahr der Perforation des Pulpakammerbodens oder von Perforationen im Bereich der Wurzeln verbunden. Bei der Aufbereitung dieser Kanäle kann die Berücksichtigung folgender Vorgehensweisen helfen, Perforationen, Stufenbildungen und Verblockungen vorzubeugen [44]:

- die Wurzelkanäleingänge sollten erweitert werden, um durch Reizdentinbildung verursachte Konstriktionen zu entfernen und einen geraden Zugang zum Kanal zu ermöglichen, da hier Wurzelkanalinstrumente, die in den Kanal inseriert werden sollen, häufig klemmen und so die Instrumentierung des Kanals erschweren,
- Pulpakavum und Wurzelkanal sollten ausreichend mit Spüllösung (Natriumhypochlorit) gefüllt sein, um bei der Bearbeitung entstehenden Debris gleich zu lösen bzw. durch Spülung zu entfernen,
- zur Katheterisierung des Wurzelkanals werden kurze Instrumente mit höherer Steifigkeit verwendet (C+ Fei-

len, Dent-sply Maillefer; C-Pilot Feilen, VDW),

- die Instrumentierung kann durch passive Ultraschallirrigation unterstützt werden,
- bei gekrümmten Kanälen müssen Handinstrumente (Edelstahlinstrumente), die zur Katheterisierung verwendet werden, entsprechend der Röntgenübersichtsaufnahme vorgebogen werden,
- der finalen Präparation sollte die Präparation eines Gleitpfades unbedingt vorausgehen.

Insbesondere Zähne bei Patienten höheren Lebensalters oder bei Patienten mit Zustand nach länger zurückliegendem Zahntrauma stellen den Behandler

vor erhöhte Schwierigkeiten bei der endodontischen Therapie.

4.6 Komplikationen bei der

Wurzelkanalaufbereitung:
Blockierungen, Stufen und
Kanalverlagerungen

Die Schwierigkeiten und Komplikationen, die bei der Wurzelkanalaufbereitung auftreten können sind mannigfaltig, hauptsächlich bedingt durch zahnbezogene, morphologische und mechanische Besonderheiten [45]. Eine wichtige Voraussetzung bei der primären Wurzelkanalpräparation zur Vermeidung von Komplikationen sind die initiale Sondierung und die Gleitpfadpräparation vor der Präparation einer kontinuierlichen Kanalform von Apex bis zur Zugangskavität. Dabei soll die Form des Wurzelkanalsystems erhalten bleiben und eine unnötige Schwächung des Wurzelkanalendtes durch Überinstrumentierung vermieden werden [82]. Besondere Anforderungen stellen dabei gekrümmte Kanäle mit kleinem Krümmungsradius oder s-förmiger Krümmung dar. Vor allem bei der Sekundärpräparation kann es leichter zu koronalen oder apikalen Verblockungen und Stufenbildungen kommen (Abb. 14). Um eine Stufe zu überwinden, können feine Handinstrumente mit vorgebogenen Spitzen zur Sondierung eingesetzt werden. In den letzten Jahren hat die kontinuierliche Weiterentwicklung von Instrumenten und Aufbereitungstechniken dazu geführt, den Schwierigkeiten bei der Wurzelkanalaufbereitung zu begegnen. Vor allem die koronale Erweiterung, die Gleitpfadpräparation sowie die Einführung flexibler, sogenannter „pathfinding files“ haben nachweislich dazu beigetragen, bei der Wurzelkanalpräparation die Kanal Anatomie zu erhalten, eine Reduktion der Restdentinstärke zu verhindern und die apikale Transportation sowie Stufenbildungen zu reduzieren [2, 8, 9, 34, 76, 100, 101].

4.7 Instrumentenfrakturen

Instrumentenfrakturen stellen eine weitere, erschwerende Komplikation im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung dar, die die Prognose der endodontischen Therapie beeinflussen können, vor allem dann, wenn das Fragment

nicht entfernt werden kann [71]. In jedem Falle ist der Patient über eine Instrumentenfraktur aufzuklären und dies entsprechend zu dokumentieren [61]. Materialfehler (selten), Über- oder Fehlbeanspruchungen im Rahmen der Behandlung sowie Materialermüdung bei zu häufiger Verwendung sind die Hauptursachen für Instrumentenfrakturen [43]. Frakturen können vermieden werden durch Präparation eines geraden Zugangs zum Kanal, der Gleitpfadpräparation und einer kontinuierlichen Bewegung der Instrumente im Kanal.

Kommt es doch zu einer Fraktur eines Instrumentes, erschwert dies die weitere Kanalaufbereitung nicht unerheblich, abgesehen von der Zeit, die benötigt wird, um das frakturierte Instrument zu entfernen. In diesem Fall muss – auf Kosten der Zahnhartsubstanz – ein gerader Zugang zum Instrument geschaffen werden, dann kann versucht werden, das Fragment mittels Ultraschall oder anderer in der Literatur beschriebener Verfahren zu entfernen (Schlingen- oder Loop-Technik, Tube-Technik, Braiding-Technik) [4] (Abb. 15). Es werden sich aus der Instrumentenfraktur jedoch auch Situationen ergeben, bei denen trotz des Einsatzes von Hilfsmitteln wie OP-Mikroskop, Ultraschallspitzen oder Instrumenten-Entfernungssystemen ein Fragment nicht entfernt werden kann, weil im Zusammenhang mit der Entfernung Risiken bestehen (Substanzverlust, Gefahr einer Perforation, Stufenbildung, persistierende Entzündung), die langfristig die Zahnerhaltung in Frage stellen. Auch im Rahmen der Thematik der Fragmententfernung hat in gewisser Weise das Pareto-Prinzip seine Berechtigung: Die Erfolgsrate im Rahmen der Fragmententfernung nimmt mit zunehmender dafür in Anspruch genommener Zeitdauer signifikant ab [90]. *Panitvisai* et al. konnten 2010 in einer Meta-Analyse zum Einfluss belassener Instrumentenfragmente auf den Behandlungserfolg zeigen, dass – auf der Basis von zwei Fallstudien, die den Einschlusskriterien entsprachen (199 Fälle) – der Therapieerfolg durch Belassen eines Fragmentes nicht signifikant beeinflusst wurde: Bei initial vorhandener periapikaler Läsion kam es in 80,7 % zu einer Ausheilung der Läsion, während dann, wenn initial keine periapikale Läsion vorhanden war, in 92,4 % der Fälle ein Erfolg verzeichnet werden

konnte [71]. *McGuigan* et al. haben in einer Literaturübersicht 2013 die Auswirkungen frakturierter Instrumente auf den Behandlungserfolg, Ursachen und Prävention von Instrumentenfrakturen und die Entscheidungsfindung bei Instrumentenfraktur ausführlich diskutiert [61–63]. Dem Behandler stehen im Falle der Instrumentenfraktur – auch abhängig von dem Zeitpunkt der Fraktur im Rahmen der Behandlung (Behandlungsbeginn? Aufbereitung erfolgt?) und zahnbezogenen Faktoren (Vorhandensein einer periapikalen Entzündung?) – verschiedene Behandlungsoptionen zur Wahl. Die Entscheidung, ein frakturiertes Instrument ggf. zu belassen, hängt im Wesentlichen von dem Status der Aufbereitung ab. *McGuigan* et al. schlussfolgern, dass derzeit die Evidenz aus klinischen Studien fehlt, um eine Prognose der Komplikation „Instrumentenfraktur“ auf den Langzeiterfolg der endodontischen Behandlung zu bewerten [61, 63]. Hinsichtlich der Ursachen und Prophylaxe von Instrumentenfrakturen fassen die Autoren zusammen, dass – auf der Basis der verfügbaren Literatur (vornehmlich In-vitro-Studien und keine klinische Evidenz) die Frakturrate von NiTi-Instrumenten ähnlich der Frakturrate von Stahlinstrumenten ist. Materialermüdung ist neben hygienischen Gründen ein Grund mehr, der für einen „single patient use“ von Nickel-Titan Instrumenten spricht.

4.8 Der Umgang mit Perforationen

Nach einer sehr frühen Untersuchung von *Ingle* et al. [47] sind Wurzelkanalperforationen die zweithäufigste Ursache für den endodontischen Misserfolg. *Tsesis* et al. [96] geben die Häufigkeit iatrogenen Wurzelperforationen mit 2–12 % der wurzelkanalbehandelten Zähne an. Nach Daten von *Holland* et al. [41] sowie von *Farzaneh* et al. [28] und *de Chevigny* et al. [19] aus der Toronto-Studie reduziert sich die Erfolgsrate einer endodontischen Revisionsbehandlung bei präoperativ vorliegender Perforation signifikant. Dabei müssen nicht alle Perforationen Komplikationen iatrogenen Ursprungs darstellen, auch resorptive Prozesse infolge externer und interner Resorptionen (siehe unten) sowie Karies können ursächlich sein für eine Perforation. Perforationen treten häufig im Rahmen der Darstellung, Katheterisie-

rung und Aufbereitung von Wurzelkanälen auf, vor allem dann, wenn das Pulpakavum oder die Wurzelkanäle obliteriert oder die Wurzelkanäle stark gekrümmt sind (Abb. 16). Auch die Präparation zur Stiftinsertion birgt eine erhöhte Perforationsgefahr.

In den letzten 20 Jahren hat sich MTA (Mineral Trioxide Aggregat), ein Derivat von Portland Zement in unterschiedlichen Modifikationen, zum Verschluss von Perforationen klinisch bestens bewährt [55, 94]. In der Literatur sind hierzu retrospektive Untersuchungen und Einzelfallberichte verfügbar, die den Einsatz von MTA in der Kurzzeitbeobachtung und in der Langzeitbeobachtung innerhalb der Limitationen der verfügbaren Daten positiv bewerten [17, 58, 64, 75, 81]. Krupp et al. [52] untersuchten retrospektiv 90 Zähne, bei denen über einen Zeitraum von 10 Jahren (durchschnittlich 3,4 Jahre) Perforationen mit Mineraltrioxidaggregat versorgt worden waren. Hierbei konnten 73 % der Restaurationen als Erfolg bewertet werden. Zu den Materialien, die als biologisch aktive Materialien im Rahmen des Verschlusses von Perforationen aber auch im Rahmen der Versorgung akzidenteller oder traumatischer Pulpaperforationen zur Anwendung kommen, gehören eine Vielzahl von Präparaten (z.B. ProRootMTA, Harvard MTA, Angelus MTA, Biodentine; Total Fill BC Root Repair Material, BUSA u. v. a.) und Weiterentwicklungen, zu denen in der Literatur Fallberichte und Übersichtsarbeiten verfügbar sind [36, 37, 74, 75, 81, 93]. Die Applikation erfolgt unter Sicht mit entsprechenden Applikationshilfen (Micro Apical Placement MAP System, Produits Dentaires SA/i-Dent, MTA Applikator, Angelus).

4.9 Die endodontische Revisionsbehandlung

Wann ist eine Wurzelkanalbehandlung als ein Misserfolg zu bewerten? Das Verfehlen des Zieles, mit der endodontischen Behandlung eine periapikale Entzündung zu heilen oder mit der endodontischen Therapie der Entstehung einer periapikalen Entzündung vorzubeugen sowie insuffiziente Wurzelkanalfüllungen vor prothetischer Versorgung stellen eine Indikation für eine Revision dar, wenn der betreffende Zahn als erhaltungswürdig im Gesamt-

konzept anzusehen ist. Dabei definieren Bargholz et al. [5], dass „es sich bei der Revision der Wurzelkanalfüllung nicht um eine Erneuerung oder den Austausch der Wurzelkanalfüllung handelt, sondern tatsächlich um eine Wiederholung der Primärbehandlung (Retreatment) mit Korrektur der dort gemachten Fehler und Unzulänglichkeiten“ (Zitat). So stellt die endodontische Revisionsbehandlung durch das Scheitern der Primärbehandlung per se eine endodontische Komplikation dar, allerdings können sich auch im Rahmen der Revision weitere Schwierigkeiten ergeben.

Bei der Wiederholung der Wurzelkanalaufbereitung und –obturation ist denselben Kriterien Beachtung zu schenken wie bei der Primärbehandlung. An erster Stelle muss eine Identifikation der Ursache für das Versagen stehen. Dabei ist jedoch der Tatsache Beachtung zu zollen, dass es im Rahmen der primären Aufbereitung des Wurzelkanalsystems [10, 15, 56, 57] und mehr noch im Rahmen der Revision sowohl mit Handinstrumenten aber auch mit rotierenden Instrumenten (rotierende und reziprozierende Instrumente) [86] zu Defekten (Infrakturen und Rissen) des Wurzelkanalendents kommen kann. Nach Bürklein et al. [15] ist zwar nicht erwiesen, ob es bedingt durch die beobachteten Defekte im Rahmen der Aufbereitung langfristig vermehrt zu vertikalen Frakturen kommt, allerdings muss versucht werden, Defekte des Wurzelkanalendents im Rahmen der Aufbereitung und der Revision zu vermeiden. Spezielle Instrumentengeometrien (z.B. ProTaper Next, Dentsply Maillefer; HyFlex, Coltene; Bio RaCe, FKG) könnten durch Reduktion des Kontaktes zwischen Feile und Wurzelkanalentin, Reduktion des „screw“ Effektes sowie des „taper locks“ deren negative Auswirkung auf das Wurzelkanalentin bei der Aufbereitung reduzieren [16]. In diesem Zusammenhang werden auch die verwendeten Spüllösungen, die Morphologie des Wurzelkanalsystemes, die Obturationsmethode sowie die Insertion von Stiften als zusätzliche mögliche Einflussfaktoren diskutiert. Im Rahmen der Revision einer Wurzelkanalfüllung ist bei Verdacht auf eine Infraktur oder Fraktur die Anfärbung des Wurzelkanalendents mit Farbstoffen wie beispielsweise Me-

thylenblau sinnvoll, um diese – unter dem OP-Mikroskop – sichtbar zu machen und den Patienten anhand einer Photodokumentation über die infauste Prognose und die notwendige weitere Therapie zu informieren.

4.10 Die Entfernung von Stiften

Bei der Revision können Stiftaufbauten aus unterschiedlichen Materialien die erste Hürde für den erneuten Zugang zum Wurzelkanalsystem sein. Diese müssen – möglichst ohne die verbleibende Restzahnsubstantz zu schwächen – entfernt werden, bevor die eigentliche Ursache für die Revisionsbehandlung wie die Aufbereitung nicht – oder insuffizient – behandelte Kanäle, die Entfernung von Instrumenten oder die Überwindung von Stufen behandelt wird. Zusatzinstrumentarium wie Ultraschall- oder Schallansätze können dabei die Entfernung der Stifte erleichtern (EMS Piezon Master, KaVo Sonic Flex mit entsprechenden Spitzen: EMS Instrument D; Dentsply Maillefer StartX No. 4 und No. 5; Endosonor Feilen, Maillefer). Das Vorgehen bei der Stiftentfernung richtet sich dabei nach der Art des Stiftaufbaus und dem Material. So lassen sich konfektionierte, zementierte Metallstifte nach Freilegung der Zementfuge ultraschallunterstützt durch entsprechend groß dimensionierte, nichtdiamantierte Metallansätze entfernen, die rotierend um den Stift geführt werden (Abb. 17). Bei der Entfernung von Schrauben kommt ein entsprechendes Instrumentarium zum Einsatz, hier muss das Instrument entgegen der Drehrichtung der Schraube geführt werden. Während Keramikstifte aus Zirkondioxid häufig brechen, gestaltet sich die Entfernung der heute häufig verwendeten adhäsiv befestigten Glasfaserstifte einfacher. Deren Versagensmodus ist a priori ein Adhäsionsverlust, sodass sich bei Versagen der gesamte Stift adhäsiv oder kohäsiv löst. Muss aus der Notwendigkeit einer Revision heraus ein Glasfaserstift entfernt werden, so kann mittels Anfärbung mit z.B. Methylenblau der Stift angefärbt, der Verlauf nachvollzogen und der Stift unter Zuhilfenahme von Dentalmikroskop und diamantierten Ultraschall- oder Schallansätzen sukzessive entfernt werden. Durch die Entfernung des Zementes und die Erweiterung des Wurzelkanallumens, durch die Manipulation und aufgrund der häufig nach maschineller Auf-

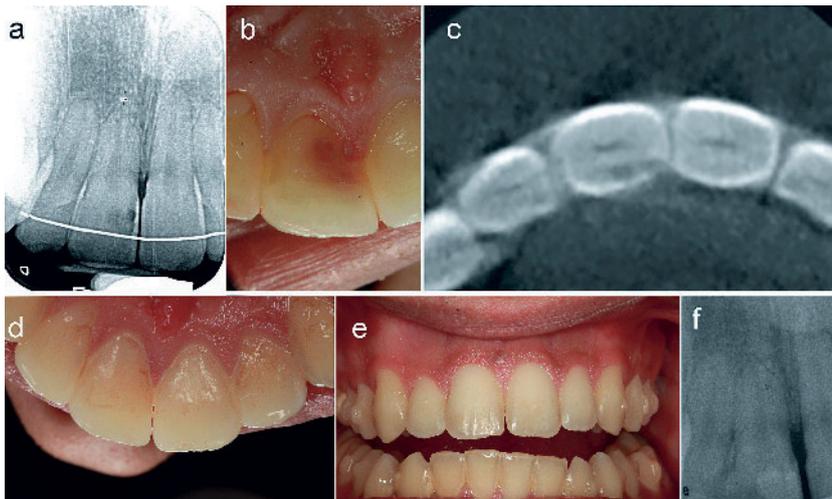


Abbildung 18 Invasive, laterale, gingivale Resorption an Zahn 11 mesial; **a)** prä-operativer Röntgenbefund; **b)** klinisch imponiert ein „pink spot“; **c)** DVT Aufnahme zur Evaluation der Defektgröße; **d-f)** Zustand nach Lappenoperation, Defektdarstellung und Behandlung mit Trichloroessigsäure sowie Füllungstherapie mit Glasionomerzement zur Vitalerhaltung des Zahnes drei Monate nach Therapie.

Figure 18 Invasive, lateral, gingival resorption tooth 11 mesial; **a)** pre-operative x-ray; **b)** clinically, a “pink spot” is identified; **c)** CBCT to evaluate the size of the lesion; **d-f)** situation three months after surgical treatment with flap preparation, exposure of the resorptive defect and treatment with trichloroacetic acid as well as restoration with glass ionomer cement to retain vitality of the tooth.

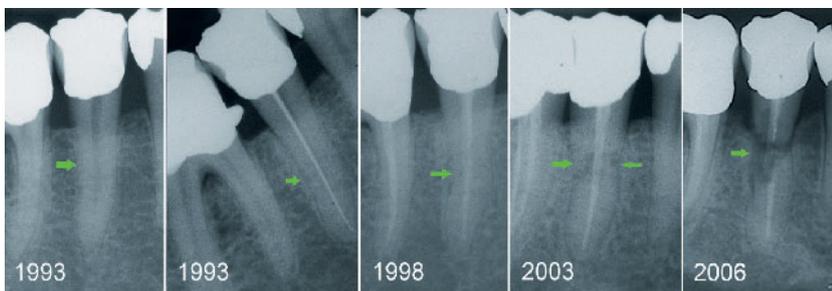


Abbildung 19 Externe Wurzelresorption, die trotz Wurzelkanalbehandlung progressiv verlief, und letztendlich den Verlust des Zahnes 45 bedingte.

Figure 19 External root resorption with progressive development that led to extraction of tooth 45.

(Abb. 1–19: Prof. Dr. B. Thonemann)

bereitung beobachteten Wurzelinfrakturen und Risse birgt die Revisionsbehandlung mit Stiftentfernung eine erhöhte Gefahr für Wurzelfrakturen [11, 12, 18, 38] und erfordert unbedingt eine vorhergehende Aufklärung des Patienten.

4.11 Komplikationen durch externe und interne Resorptionen

Externe oder interne Resorptionen stellen Komplikationen im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung dar, die zum einen häufig im Rahmen eines Zufalls-

befundes diagnostiziert werden und zum anderen bei später Diagnose und großer Ausdehnung des Defektes eine Zahnextraktion erforderlich machen können. Auf eine auslösende Noxe hin kommt es zu einer Stimulation resorptiver Prozesse [33, 51]. Dabei kann der auslösende Reiz eine mechanische Irritation (Trauma, Druck ausgelöst durch kieferorthopädische Bewegung, chirurgische Eingriffe, Tumoren oder impaktierte Zähne) oder eine chemische Irritation sein, z.B. infolge exzessiven Bleichens [98]. In Abhängigkeit von den auslösenden Faktoren ist es das Ziel ei-

ner Behandlung, diese rechtzeitig zu eliminieren und die Resorption zu stoppen.

Gerade im Rahmen von Zahntraumata kommt der Vorbeugung von Resorptionen durch eine adäquate Akutversorgung und Folgetherapie eine übergeordnete Bedeutung zu [3]. Dazu gehören eine adäquate, patienten- und zahnbezogene Diagnostik und Therapie sowie die Abwägung der Therapieformen gegeneinander (Versuch der Vitalerhaltung, regenerative Verfahren, endodontische Therapie). Der Dental Trauma Guide (www.dentaltraumaguide.org) des Copenhagen University Hospital in Zusammenarbeit mit der IADT (International Association of Dental Traumatology) und die AcciDent Trauma App der DGET (Deutsche Gesellschaft für Endodontologie und zahnärztliche Traumatologie) in Zusammenarbeit mit dem Zahnunfallzentrum Basel bieten im Notfall schnell unterstützende Informationen für Diagnostik und Therapie.

Bei Entzündungsprozessen innerhalb der Pulpa als Auslöser für interne Resorptionen und entzündliche periradikuläre Resorptionen ist die Wurzelkanalbehandlung Mittel der Wahl, während bei externen und apikalen Resorptionen ein Arrest des Prozesses nur durch eine operative Entfernung des Granulationsgewebes aus den Resorptionslakunen möglich ist, und hier die rechtzeitige Diagnose eine übergeordnete Rolle für den Zahnerhalt spielt [33]. Klinisch sind die Resorptionen im frühen Stadium häufig symptomfrei. Im Rahmen der endodontischen Diagnostik in Klinik und Radiographie ist daher frühen Hinweisen auf mögliche Resorptionen (pink spots, radiologische Veränderungen entlang der Wurzeloberfläche oder im Bereich des Pulpakavums) besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Differenzierung zwischen externer und interner Resorption sowie die Beurteilung des Ausmaßes der Resorption ist häufig nur mit zusätzlichen bildgebenden Maßnahmen wie digitaler Volumetomografie möglich [3, 33, 96, 97] (Abb. 18).

5 Grenzen der Zahnerhaltung

Bei der Therapieentscheidung für eine Wurzelkanalbehandlung stehen zunächst die langfristige Erhaltbarkeit des

betreffenden Zahnes und seine Wertigkeit im Gesamtkonzept im Vordergrund [70]. Während der Behandlung können sich Komplikationen ergeben, die auch zu einem späteren Zeitpunkt trotz suffizienter Befundung und Diagnostik eine Re-evaluation der Eingangsentscheidung erforderlich machen, weil die Grenzen der Zahnerhaltung erreicht sind. Hierzu gehören Instrumentenfrakturen ohne Möglichkeit der Fragmententfernung, ausgedehnte interne und externe Resorptionen sowie Infrakturen und Frakturen der Zahnhartsubstanzen. Einige dieser Diagnosen sind erst im Laufe der Behandlung zu erkennen und geben im Nachhinein Aufschluss, warum sich eine Wurzelkanalbehandlung als kompliziert oder therapieresistent gestaltet (Abb. 19). Hier muss im Rahmen der Befundung und Diagnostik eine sorgfältige Differentialdiagnostik betrieben werden und kleinsten Unregelmäßigkeiten im Röntgenbild, bei der Katheterisierung der Kanäle und im Rahmen der Aufbereitung ist Beachtung zu zollen. Bei den Instrumentenfrakturen und den Resorptionen wurde bereits auf

mögliche Indikatoren hingewiesen, die die Entscheidung für eine Zahnentfernung unterstützen. Infrakturen von Zähnen sind häufig erst zu diagnostizieren, wenn die Zugangskavität präpariert ist und sich ein Riss oder eine Infraktur darstellt. Allerdings geben Brynjulfsen et al. [13] an, dass auch diffuse Schmerzen 1–2 Jahre nach der endodontischen Behandlung zu 90 % auf Infrakturen hinweisen können. Slot- oder Kamineffekte bei der Sondierung des Parodontalspalt sind ebenfalls ein sicheres Indiz für eine Wurzellängsfraktur oder Infraktur, die eine Extraktion erforderlich machen, sie können z.B. mit flexiblen Implantatsonden zur Sondierung des Defektes diagnostiziert werden.

6 Fazit

Innovative Entwicklungen in der Endodontie in den letzten Jahren haben die Möglichkeiten zur Zahnerhaltung wesentlich beeinflusst. Die Grenzen der Zahnerhaltung durch eine Wurzelkanalbehandlung haben sich mit diesen Mög-

lichkeiten eindeutig zugunsten des Erhaltes eigener Zähne verschoben. Auch die Identifikation von Problemen und das Management von Komplikationen sind durch diese Entwicklungen positiv beeinflusst worden. DZZ

Interessenkonflikte: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadressen

Prof. Dr. med. dent. Birger Thonemann
PD Dr. med. dent. Marianne Federlin
Universitätsklinikum Regensburg
Poliklinik für Zahnerhaltung
und Parodontologie
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Wolfgang Buchalla
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
93053 Regensburg
birger.thonemann@ukr.de
marianne.federlin@ukr.de
und
Privatzahnärztliche Praxis, Luegplatz 3,
40545 Düsseldorf

Literatur

1. AAOS: American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical practice guideline on prevention of orthopaedic implant infection in patients undergoing dental procedures. National guideline Clearinghouse No. 009564 2012;1–320
2. Alves Vde O, Bueno CE, Cunha RS, Pinheiro SL, Fontana CE, de Martin AS: Comparison among manual instruments and PathFile and Mtwo rotary instruments to create a glide path in the root canal preparation of curved canals. J Endod 2012;38:117–120
3. Andreasen FM, Kahler B: Pulpal response after acute dental injury in the permanent dentition: clinical implications – a review. J Endod 2015;41:299–308
4. Arnold M: Methoden zur orthograden Entfernung frakturierter Wurzelkanalinstrumente. Endodontie 2013; 22:159–169
5. Bargholz C, Hülsmann M, Schäfer E: Revisionen. In: Hülsmann M, Schäfer E (Hrsg): Probleme in der Endodontie. Prävention, Identifikation und Management. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2007, 471–497
6. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A: Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. J Endod 2007;33:966–969
7. Berbari EF, Osmon DR, Carr A et al.: Dental procedures as risk factors for prosthetic hip or knee infection: a hospital-based prospective case-control study. Clin Infect Dis 2010;50: 8–16
8. Berutti E, Cantatore G, Castellucci A et al.: Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. J Endod 2009;35:408–412
9. Berutti E, Paolino DS, Chiandussi G et al.: Root canal anatomy preservation of WaveOne reciprocating files with or without glide path. J Endod 2012;38: 101–104
10. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesseling PR, Wu MK: The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. J Endod 2009;35:236–238
11. Bitter K, Kielbassa AM: Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: a review. Am J Dent 2007;20: 353–360
12. Bitter K, Meyer-Lueckel H, Fotiadis N et al.: Influence of endodontic treatment, post insertion, and ceramic restoration on the fracture resistance of maxillary premolars. Int Endod J 2010; 43:469–477
13. Brynjulfsen A, Fristad I, Grevstad T, Hals-Kvinnslund I: Incompletely fractured teeth associated with diffuse longstanding orofacial pain: diagnosis and treatment outcome. Int Endod J 2002;35:461–466
14. Bui TB, Baumgartner JC, Mitchell JC: Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. J Endod 2008;34: 181–185
15. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E: Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. J Endod 2013; 39:501–504
16. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B: Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. J Endod 2014;40: 1482–1484
17. da Silva EJ, Andrade CV, Tay LY, Herrera DR: Fucal-perforation repair with mineral trioxide aggregate: Two years follow-up. Indian J Dent Res 2012;23: 542–545
18. Dammaschke T, Nykiel K, Sagheri D, Schäfer E: Influence of coronal restorations on the fracture resistance of root

- canal-treated premolar and molar teeth: a retrospective study. *Aust Endod J* 2013;39:48–56
19. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR et al.: Treatment outcome in endodontics: the Toronto study – phases 3 and 4: orthograde retreatment. *J Endod* 2008; 34:131–137
 20. Debelian GJ, Olsen I, Tronstad L: Bacteremia in conjunction with endodontic therapy. *Endod Dent Traumatol* 1995; 11:142–149
 21. Debelian GJ, Olsen I, Tronstad L: Anaerobic bacteremia and fungemia in patients undergoing endodontic therapy: an overview. *Ann Periodontol* 1998;3: 281–287
 22. Edelhoff DH, Heidemann D, Kern M, Weigl P: (2003): Aufbau endodontisch behandelter Zähne – Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ. Wissenschaftliche Stellungnahme Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
 23. Ee J, Fayad MI, Johnson BR: Comparison of endodontic diagnosis and treatment planning decisions using cone-beam volumetric tomography versus periapical radiography. *J Endod* 2014; 40:910–916
 24. Eichenberger M, Perrin P, Neuhaus KW, Bringolf U, Lussi A: Influence of loupes and age on the near visual acuity of practicing dentists. *J Biomed Opt* 2011; 16:035003
 25. Eichenberger M, Perrin P, Neuhaus KW, Bringolf U, Lussi A: Visual acuity of dentists under simulated clinical conditions. *Clin Oral Investig* 2013;17: 725–729
 26. Eliyas S, Jalili J, Martin N: Restoration of the root canal treated tooth. *Br Dent J* 2015;218:53–62
 27. European Society of E: Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 2006;39: 921–930
 28. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: the Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *J Endod* 2004; 30:627–633
 29. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S, Toronto S: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study. Phase II: initial treatment. *J Endod* 2004;30:302–309
 30. Fedorowicz Z, Carter B, de Souza RF, Chaves CA, Nasser M, Sequeira-Byron P: Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root filled teeth. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;5:CD009109
 31. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study. Phase 1: initial treatment. *J Endod* 2003;29: 787–793
 32. Fusayama T, Maeda T: Effect of pulpctomy on dentin hardness. *J Dent Res* 1969;48:452–460
 33. Fuss Z, Tsesis I, Lin S: Root resorption – diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol* 2003; 19:175–182
 34. Gergi R, Arbab-Chirani R, Osta N, Naaman A: Micro-computed tomographic evaluation of canal transportation instrumented by different kinematics rotary nickel-titanium instruments. *J Endod* 2014;40:1223–1227
 35. Gillen BM, Looney SW, Gu LS et al.: Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2011;37:895–902
 36. Göhring KS, Lehnert B, Zehnder M: Indikationsbereiche von MTA, eine Übersicht. Teil 1: Chemische, physikalische und biologische Eigenschaften von MTA. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004;114:143–153
 37. Göhring KS, Lehnert B, Zehnder M: Indikationsbereiche von MTA, eine Übersicht. Teil 2: Klinische Anwendung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004; 114:222–234
 38. Goracci C, Ferrari M: Current perspectives on post systems: a literature review. *Aust Dent J* 2011;56(Suppl1):77–83
 39. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y: Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am* 2010;54:291–312
 40. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y: Irrigation in endodontics. *Br Dent J* 2014;216:299–303
 41. Holland R, Bisco Ferreira L, de Souza V, Otoboni Filho JA, Murata SS, Dezan E, Jr.: Reaction of the lateral periodontium of dogs' teeth to contaminated and noncontaminated perforations filled with mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2007;33:1192–1197
 42. Hülsmann M: Das Auffinden zusätzlicher Wurzelkanäle. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1992;102: 85–90
 43. Hülsmann M: Instrumentenfrakturen. In: Hülsmann M, Schäfer E (Hrsg): Probleme in der Endodontie. Prävention, Identifikation und Management. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin 2007, 435–456
 44. Hülsmann M, Barthel C: Probleme beim Zugang zum Wurzelkanalsystem. In: Hülsmann M, Schäfer E (Hrsg): Probleme in der Endodontie. Prävention, Identifikation und Management. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin 2007, 163–194
 45. Hülsmann M, Schäfer E: Probleme bei der Wurzelkanalpräparation. In: Hülsmann M, Schäfer E (Hrsg): Probleme in der Endodontie. Prävention, Identifikation und Management. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin 2007, 235–279
 46. Imura N, Pinheiro ET, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC, Souza-Filho FJ: The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist. *J Endod* 2007;33: 1278–1282
 47. Ingle JI: A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1961;14: 83–91
 48. Kolosowski KP, Sodhi RN, Kishen A, Basrani BR: Qualitative analysis of precipitate formation on the surface and in the tubules of dentin irrigated with sodium hypochlorite and a final rinse of chlorhexidine or QMiX. *J Endod* 2014;40:2036–2040
 49. Kölpin M, Sterzenbach G, Naumann M: Composite filling or single crown? The clinical dilemma of how to restore endodontically treated teeth. *Quintessence Int* 2014;45:457–466
 50. Krasner P, Rankow HJ: Anatomy of the pulp-chamber floor. *J Endod* 2004;30: 5–16
 51. Krastl G, Weiger R: Externe Wurzelresorptionen nach Dislokationsverletzungen. *Endodontie* 2012;21:33–43
 52. Krupp C, Bargholz C, Brusehaber M, Hülsmann M: Treatment outcome after repair of root perforations with mineral trioxide aggregate: a retrospective evaluation of 90 teeth. *J Endod* 2013;39: 1364–1368
 53. Kuyk JK, Walton RE: Comparison of the radiographic appearance of root canal size to its actual diameter. *J Endod* 1990;16:528–533
 54. LaPorte DM, Waldman BJ, Mont MA, Hungerford DS: Infections associated with dental procedures in total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br* 1999; 81:56–59
 55. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M: Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;19:541–544
 56. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, Shemesh H: The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 2013;39:1054–1056
 57. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, Wesselink PR, Hou B, Wu MK: Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39: 129–132
 58. Lodiene G, Kleivmyr M, Bruzell E, Orstavik D: Sealing ability of mineral trioxide aggregate, glass ionomer cement and composite resin when repairing large furcal perforations. *Br Dent J* 2011;210:E7
 59. Lynch CD, Burke FM, Ni Riordain R, Hannigan A: The influence of coronal restoration type on the survival of endodontically treated teeth. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2004;12: 171–176

60. Manhart J: Postendodontische Versorgung von wurzelbehandelten Zähnen mit adhäsiv befestigten Kompositen. *Der Freie Zahnarzt* 2011;1:58–67
61. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF: Clinical decision-making after endodontic instrument fracture. *Br Dent J* 2013;214:395–400
62. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF: Endodontic instrument fracture: causes and prevention. *Br Dent J* 2013;214:341–348
63. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF: The impact of fractured endodontic instruments on treatment outcome. *Br Dent J* 2013;214:285–289
64. Mente J, Hage N, Pfeufferle T et al.: Treatment outcome of mineral trioxide aggregate: repair of root perforations. *J Endod* 2010;36:208–213
65. 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
66. Murray CA, Saunders WP: Root canal treatment and general health: a review of the literature. *Int Endod J* 2000;33:1–18
67. Ng YL, Mann V, Gulabivala K: A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. *Int Endod J* 2011;44:610–625
68. 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
69. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K: Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – Part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J* 2008;41:6–31
70. Owaydi-Mandel A, Petrov SD, Drew HJ: Novel decision tree algorithms for the treatment planning of compromised teeth. *Quintessence Int* 2013;44:75–84
71. Panitvisai P, Parunnit P, Sathorn C, Messer HH: Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2010;36:775–780
72. Paqué F, Boessler C, Zehnder M: Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J* 2011;44:148–153
73. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M: Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod* 2009;35:1044–1047
74. Parirokh M, Torabinejad M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review – Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 2010;36:16–27
75. Parirokh M, Torabinejad M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review – Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 2010;36:400–413
76. Pasqualini D, Bianchi CC, Paolino DS et al.: Computed micro-tomographic evaluation of glide path with nickel-titanium rotary PathFile in maxillary first molars curved canals. *J Endod* 2012;38:389–393
77. Perrin P, Ramseyer ST, Eichenberger M, Lussi A: Visual acuity of dentists in their respective clinical conditions. *Clin Oral Investig* 2014;18:2055–2058
78. Peters OA, Laib A, Rueggegger P, Barbakow F: Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res* 2000;79:1405–1409
79. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* 1995;28:12–18
80. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH: Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 1989;15:512–516
81. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG: Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater* 2008;24:149–164
82. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974;18:269–296
83. Schwartz RS, Fransman R: Adhesive dentistry and endodontics: materials, clinical strategies and procedures for restoration of access cavities: a review. *J Endod* 2005;31:151–165
84. Schwartz RS, Fransman R: Adhesive dentistry and endodontics: materials, clinical strategies, and procedures for restoration of access cavities: a review. *Tex Dent J* 2011;128:547–570
85. Setzer FC, Boyer KR, Jeppson JR, Karabucak B, Kim S: Long-term prognosis of endodontically treated teeth: a retrospective analysis of preoperative factors in molars. *J Endod* 2011;37:21–25
86. Shemesh H, Roeleveld AC, Wesselink PR, Wu MK: Damage to root dentin during retreatment procedures. *J Endod* 2011;37:63–66
87. Siqueira JF, Jr.: Microbial causes of endodontic flare-ups. *Int Endod J* 2003;36:453–463
88. Siqueira JF, Jr., Rocas IN: Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability. *Aust Endod J* 2011;37:92–98
89. Song M, Kim HC, Lee W, Kim E: Analysis of the cause of failure in nonsurgical endodontic treatment by microscopic inspection during endodontic microsurgery. *J Endod* 2011;37:1516–1519
90. Suter B, Lussi A, Sequeira P: Probability of removing fractured instruments from root canals. *Int Endod J* 2005;38:112–123
91. Tang W, Wu Y, Smales RJ: Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *J Endod* 2010;36:609–617
92. Thonemann B, Schmalz G, Federlin M: Bloß Trepanation? *Bayerisches Zahnärzteblatt* 2006;31–33
93. Torabinejad M, Parirokh M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review – part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod* 2010;36:190–202
94. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR: Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 1993;19:591–595
95. Trushkowsky RD: Restoration of endodontically treated teeth: criteria and technique considerations. *Quintessence Int* 2014;45:557–567
96. Tsesis I, Rosenberg E, Faivishevsky V, Kfir A, Katz M, Rosen E: Prevalence and associated periodontal status of teeth with root perforation: a retrospective study of 2,002 patients' medical records. *J Endod* 2010;36:797–800
97. Venskutonis T, Plotino G, Juodzbalys G, Mickeviciene L: The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *J Endod* 2014;40:1895–1901
98. Weiger R, Kuhn A, Löst C: Effect of various types of sodium perborate on the pH of bleaching agents. *J Endod* 1993;19:239–241
99. Wu MK, Shemesh H, Wesselink PR: Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J* 2009;42:656–666
100. Zanette F, Grazziotin-Soares R, Flores ME, Camargo Fontanella VR, Gavini G, Barletta FB: Apical root canal transportation and remaining dentin thickness associated with ProTaper Universal with and without PathFile. *J Endod* 2014;40:688–693
101. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M: Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *J Endod* 2014;40:1860–1864
102. Zimmerli W, Sendi P: Antibiotics for prevention of periprosthetic joint infection following dentistry: time to focus on data. *Clin Infect Dis* 2010;50:17–19