

Lucia K. Zaugg¹, Roland Weiger²

Endodontische Aspekte nach Zahntrauma

Endodontic aspects following dental trauma



Dr. Lucia K. Zaugg

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

Dieser Beitrag bietet eine aktuelle Übersicht der endodontologischen Aspekte nach einem Zahntrauma bleibender Zähne. Wichtige Behandlungsaspekte zum Erhalt einer vitalen Pulpa durch rechtzeitig gewählte endodontische Maßnahmen sowie weitere Therapiemöglichkeiten im Falle einer Pulpanekrose beim wurzelunreifen Zahn werden aus klinischer Sicht erläutert. Die Gliederung in Primärtherapie und folgender verletzungsspezifischer Therapiekonzepte verhelfen dem Leser, wichtige initiale Behandlungsschritte einzuleiten und somit den Zahnerhalt langfristig zu beeinflussen.

This article offers a current overview of the endodontic aspects following a dental trauma of the permanent teeth. Important emergency treatment procedures are given to maintain pulpal vitality, especially of teeth with incomplete root formation. Besides, clinical techniques are described how to manage a root canal treatment in case of pulp necrosis of a tooth with an open apex. The structure of this article should guide the reader through dental emergency treatment options and following injury specific therapeutic concepts with regard of the long-term preservation of the injured tooth.

Zusammenfassung: Zahntraumata kommen bei Kindern und Jugendlichen wesentlich häufiger vor als bei Erwachsenen. Besondere Aufmerksamkeit kommt demnach der Therapie von Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzellängen- und Dickenwachstum zu. Die hohe Regenerationsfähigkeit der jugendlichen Pulpa ermöglicht bei vielen Zahnverletzungen mit geringem parodontalen Schaden und adäquater Primär- und Folgebehandlung deren Vitalerhaltung. Wichtigster prognostischer Faktor für das Pulpaüberleben ist neben Schweregrad der Verletzung und Stadium des Wurzelwachstums die Zeit vom Zahntrauma bis zur zahnärztlichen Erstversorgung. So hat eine traumatisch eröffnete Pulpa bei komplizierten Kronenfrakturen auch nach einer Expositionszeit bis zu 48 Stunden eine hohe Überlebenschance, sofern die irreversibel geschädigten Pulpaanteile entfernt und die verbliebene regenerationsfähige Pulpa mittels geeigneter Materialien abgedeckt und bakterien dicht verschlossen werden (partielle Pulpotomie). Bei Frakturverletzungen geht es daher um die umgehende Abdeckung bzw. Therapie von freiliegenden Dentin- und Pulpaarealen, um den Zahn vor eindringenden Mikroorganismen aus dem Speichel zu schützen und bestmögliche Voraussetzungen für den Vitalerhalt zu schaffen. Bei Dislokationsverletzungen hingegen ist die langfristige pulpale Prognose durch das Ausmaß des par-

Summary: Children and adolescents are more often affected from dental trauma than adults. Therefore, special attention is required in the therapy of teeth with incomplete root formation. Young pulps are highly regenerative and may remain vital after injury if the periodontal damage is negligible and adequate immediate dental treatment has been applied. The time between accident and dental emergency treatment as well as severity of the injury and the stage of the root formation are important prognostic factors concerning the pulp vitality. Traumatically exposed pulps due to crown fractures have a high chance to remain vital, provided that irreversibly damaged pulp tissue has been removed completely and covered with a bacteria tight seal (partial pulpotomy) within 48 hours. Generally, teeth with fracture injuries need immediate coverage not only of exposed pulps but also of exposed dentine surfaces to prevent bacterial penetration and subsequent pulp necrosis. In contrast, the long-term prognosis of the pulpal status following dislocation injuries is mainly dependent on the severity of the periodontal damage. No initial endodontic treatment is indicated if a "small" periodontal damage is assumed (dislocation < 2 mm). However, immediate root canal treatment is recommended after severe periodontal injuries (dislocation

¹ Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kariologie, Universitätskliniken für Zahnmedizin der Universität Basel, Hebelstr. 3, CH-4056 Basel

² Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kariologie und Zahnunfall-Zentrum, Universitätskliniken für Zahnmedizin der Universität Basel, Hebelstr. 3, CH-4056 Basel

Peer-reviewed article: eingereicht: 03.07.2015, Fassung akzeptiert: 07.07.2015

DOI 10.3238/dzz.2015.0269-0278

odontalen Schadens gegeben. Ist von einem „geringen“ parodontalen Schaden auszugehen (Dislokation < 2 mm), kann vorerst von einer endodontischen Therapie abgesehen werden. Bei einem massiven parodontalen Schaden (Dislokationen > 2 mm) ist eine zeitnahe Wurzelkanalbehandlung bei Zähnen mit abgeschlossenem Wurzellängenwachstum empfehlenswert. Antiresorptive und die Regeneration des Parodonts fördernde Therapiekonzepte über Kortikoideinlagen im Wurzelkanal stehen hierbei im Vordergrund. Besteht die Indikation zur Wurzelkanalbehandlung bei einem Zahn mit unvollständigem Wurzellängenwachstum und weit offenem apikalen Foramen, kommt der chemischen Desinfektion über Ultraschall aktivierte Spüllösungen mit Natriumhypochlorit eine besondere Bedeutung zu. Die Wurzelkanalfüllung kann mittels eines apikalen MTA-Stopps („One-Visit-Apexifikation“) unter entsprechender Sicht in einer Sitzung erfolgen. Engmaschige Kontrolltermine vor allem innerhalb des ersten Jahres nach Trauma sind allen Verletzungen gemeinsam, um frühe Anzeichen einer Pulpnekrose, Resorptionen oder Ankylosen zu erkennen und adäquat zu therapieren.

(Dtsch Zahnärztl Z 2015; 70: 269–278)

Schlüsselwörter: Zahnunfall; Zahnfrakturen; Dislokationen; partielle Pulpotomie; MTA-Plug; wurzelunreifer Zahn

1 Einleitung

In etwa ein Viertel aller Schulkinder und ein Drittel aller Erwachsenen sind von einem Zahntrauma der bleibenden Zähne betroffen [16]. Ein solches traumatisches Ereignis betrifft meistens Schmelz, Dentin, Parodont, Endodont und gelegentlich den Alveolarknochen und setzt daher die Kenntnis der Heilungsmuster der verletzten Gewebe voraus. Am häufigsten werden die Oberkieferfrontzähne in Mitleidenschaft gezogen, die bei jungen Patienten zu meist füllungs- und kariesfrei sind. Dies kann bei unsachgemäß durchgeführten Erstmaßnahmen oder nicht rechtzeitig eingeleiteter endodontischer Therapie zu Komplikationen führen, die im ungünstigsten Fall im Zahnverlust resultieren und bei jungen Patienten oftmals mit ästhetischen Einbußen aufgrund fehlender oder kompromissbehafteter Alternativen einhergehen können. Eine adäquate Primärversorgung mit anschließend sorgfältiger und verletzungsspezifischer Therapieplanung und eine regelmäßige Nachsorge spielen daher eine entscheidende Rolle im Rahmen des Zahnerhalts und bei der Prävention von endodontisch bedingten Spätfolgen.

Eine detaillierte und strukturierte Übersicht über sämtliche Aspekte im

Zusammenhang mit der Diagnostik und der Therapie des dentalen Traumas bleibender Zähne können der aktuell erstellten S2-Leitlinie [20] sowie den Empfehlungen der „International Association of Dental Traumatology“ (IADT) [2,13] entnommen werden. Auch im Hinblick auf die Verbesserung des Wissensstands [17] beleuchtet der folgende Beitrag die wesentlichen endodontologischen, für die Praxis relevanten Aspekte der verschiedenen Zahntraumata und geht auf die Besonderheiten bei Zähnen mit unvollständigem Wurzellängenwachstum ein.

2 Diagnostik und Primärtherapie

Eine zielgenaue Anamnese über den Unfallzeitpunkt sowie -hergang spielen neben der ausführlichen klinischen und radiologischen Untersuchung und der Diagnose eine wichtige Rolle in Bezug auf die Primärtherapie sowie auf die prognostische Einschätzung und im Hinblick auf möglicherweise später einzuleitende endodontische Therapiemaßnahmen. Eine strukturierte Dokumentation – beispielsweise mittels eines Traumabogens und Fotografien – sind empfeh-

> 2 mm) in teeth with both complete and incomplete root formation. In this cases antiresorptive and regenerating periodontal therapy concepts are recommended using corticoid as intracanal medication. If a root canal treatment of a tooth with incomplete root formation is indicated, cleaning and disinfection of the root canal with ultrasonically activated sodium hypochlorite is of particular importance. Further, the apical barrier can be achieved by placing a MTA plug under appropriate optical means in one appointment (“one-visit-apexification”). Regardless of the severity of the dental trauma, close follow-up is important particular within the first year after trauma. This assures the detection of early signs of pulp necrosis, resorption or ankylosis and enables adequate endodontic intervention.

Keywords: dental trauma; tooth fracture; tooth dislocation; partial pulpotomy; one-visit-apexification; immature tooth

lenswert und erleichtern maßgeblich im Zuge der Nachsorge den Vergleich von zu einem späteren Zeitpunkt erhobenen Befunden mit den Befunden des Unfalltages. Hierzu gehören die Feststellung von Zahnlockerungen, Frakturen oder Dislokationen, die Überprüfung der Sensibilität, Perkussion und der zirkulär gemessenen Sondierungstiefen der verletzten Zähne, der angrenzenden Nachbarzähne und der Antagonisten. Sich abzeichnende Zahnverfärbungen sollten gleichfalls vermerkt werden. Die röntgenologische Beurteilung (i.d.R. periapikale Aufnahme) des betroffenen Zahns spielt eine zentrale Rolle, wenn es um die rechtzeitige Erkennung von Spätfolgen wie z.B. Pulpnekrosen oder infektionsbedingte Resorptionen geht. Gleichwohl bleibt bei Kindern und Jugendlichen die höhere Strahlenbelastung im Vergleich zu älteren Patienten zu berücksichtigen (ALARA-Prinzip). Das gilt insbesondere für die Indikation für ein DVT, das nur Ausnahmen wie umfangreichen und/oder komplexen Fällen vorbehalten bleiben sollte. Die Klassifikation der Zahnverletzungen erfolgt nach Fraktur- und Dislokationsverletzungen, wobei auch häufig Kombinationsverletzungen anzutreffen sind (Tab. 1).

Frakturen	Dislokationen
Schmelzinzfraktion	Konkussion
Kronenfraktur:	Lockerung
– ohne Pulpabeteiligung	Laterale Dislokation
– mit Pulpabeteiligung	Intrusion
Kronen-Wurzel-Fraktur	Extrusion
Wurzelfraktur	Avulsion

Tabelle 1 Klassifikation der Zahnverletzungen (modifiziert nach den aktuellen S2-Leitlinien [20]).

Table 1 Classification of dental injuries (modified from the S2-Guidelines [20]).

Grundsätze der Primärtherapie

Bei *Frakturverletzungen* ist das Endodont oftmals direkt betroffen und steht somit bei der Erstversorgung im Vordergrund. Primär gilt der Abdeckung von freiliegenden Dentin- und Pulpaanteilen die Aufmerksamkeit, um den Zahn möglichst vor eindringenden Mikroorganismen aus dem Speichel zu schützen und die vitale Pulpa zu erhalten. Bei unkomplizierten Kronenfrakturen ist in der Regel die Versiegelung der freigelegten Dentinoberflächen mit einem Adhäsivsystem als Erstversorgung ausreichend, um eine Bakterienpenetration in die i.d.R. weit offenen – wenn in Pulpanähe – Dentintubuli zu verhindern (Abb. 1a). Bei komplizierten Kronenfrakturen mit eröffneter Pulpa sollte zeitnah eine partielle Pulpotomie oder bei Expositionszeiten unter 2 h eine direkte Überkappung durchgeführt werden (siehe Kapitel 4).

Bei *Dislokationsverletzungen* hingegen ist häufig das Ausmaß der parodontalen Schädigung der entscheidende Faktor für die Langzeitprognose. Dies trifft auch – in Abhängigkeit vom Patientenalter – auf den Pulpazustand zu. Die Primärtherapie eines dislozierten Zahnes beinhaltet nebst allen klinischen und radiologischen Untersuchungen dessen Reposition und Schienung. Bei sehr ausgeprägten Dislokationsverletzungen mit vermuteter Durchblutungsstörung der Pulpa (Pulpaabriss, Quetschung etc.) sollte je nach Stand des Wurzellängenwachstums eine sofortige Wurzelkanalbehandlung eingeleitet werden, um eine später auftre-

tende infizierte Pulpanekrose zu umgehen. Letztere kann via mikrobieller Toxine, die durch radikuläre Dentinkanälchen diffundieren, infektionsbedingte Resorptionen bei Zähnen mit ausgeprägten Dislokationsverletzungen auslösen. Je nach Alter des Patienten können solche Resorptionen rasch zum Zahnverlust führen. Vor dem Hintergrund solcher Konsequenzen gewinnen engmaschige Kontrollen vor allem innerhalb des ersten Jahres nach Zahntrauma an Bedeutung.

3 Verletzungsspezifische Therapiekonzepte aus endodontischer Sicht

3.1 Kronenfraktur

In den meisten Fällen ereignen sich Kronenfrakturen bei jugendlichen und kariesfreien Zähnen mit einer vitalen Pulpa. Hieraus lässt sich ein hohes Regenerationspotenzial der Pulpa ableiten. Das primäre Ziel bei der Behandlung solcher Verletzungen in Bezug auf das Endodont ist daher deren Vitalerhaltung.

Kronenfrakturen ohne Pulpabeteiligung

Schmelzbegrenzte Frakturen oder Infraktionen stellen für die Pulpa nur eine sehr geringe Gefahr für weitere Komplikationen im Sinne einer Pulpanekrose dar und bedürfen keiner speziellen Therapie. Bestehende Risse können jedoch als Eintrittspforte für Mikroorganismen dienen, sofern diese die Schmelz-Dentin-Grenze erreichen. Da dies klinisch

nicht beurteilt werden kann, sind diese Zähne regelmäßig nachzukontrollieren.

Bei Schmelz-Dentin-begrenzten Frakturen sollten die exponierten Dentintubuli so rasch wie möglich (im Rahmen der Primärtherapie!) bakterien dicht versiegelt werden. Bei genügender Restdentinstärke (> 0,5 mm) kann ein adhäsives Vorgehen mit Konditionierung der Dentinflächen gewählt werden. Ob bei einer geschätzten Restdentinstärke von weniger als 0,5 mm die zusätzliche punktuelle Applikation eines (lichthärtenden) Kalziumhydroxid- oder MTA-Präparats auf diese pulpanahe Areale zu besseren Ergebnissen führt, bleibt weitgehend offen [1] (Abb. 1).

Kronenfrakturen mit Pulpabeteiligung

Grundsätzlich spielt bei dieser Art der Kronenfraktur (traumatisch eröffnete Pulpa) der Zeitraum bis zur Versorgung der Pulpawunde eine zentrale Rolle. Er beeinflusst maßgeblich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer späteren Pulpanekrose. Die Therapie der Wahl ist nach heutigem Wissensstand die partielle Pulpotomie mit dem Ziel der Entfernung infizierter und irreversibel geschädigter Pulpaanteile unter Erhalt der Vitalität der verbleibenden Pulpa (siehe Kapitel 4). Auf der Basis von tierexperimentellen Untersuchungen empfiehlt sich die Durchführung einer partiellen Pulpotomie innerhalb der ersten 48 h nach Trauma [11]. Liegt eine längere Expositionszeit zwischen Trauma und Primärbehandlung vor, steigt das Risiko für endodontische Komplikationen (irreversible Pulpitis resp. infizierte Pulpanekrose). In diesen Fällen kann eine tiefe Pulpotomie („Vitalamputation“) erwogen werden. In äußerst seltenen Fällen ist eine Wurzelkanalbehandlung erforderlich; je nach Entwicklungsstandes des jungen Zahnes sind Maßnahmen zur Revitalisierung in Betracht zu ziehen, sofern keine maßgeblichen parodontalen Schäden vorliegen, die über den Wurzelkanal mittels Kortikoideinlagen angegangen werden können (siehe Kapitel 5 bzw. 6).

Sollte sich ein Patient im günstigsten Falle innerhalb weniger als 2 h nach Trauma in der zahnärztlichen Praxis vorstellen, kann die freigelegte Pulpa auch direkt mittels eines biokompatiblen Präparates (Kalziumhydroxid

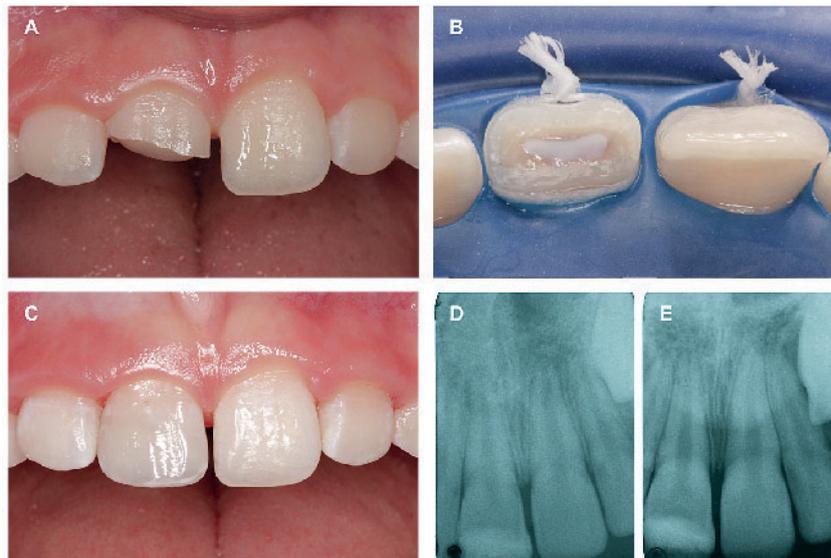


Abbildung 1 Neunjähriger Patient mit unkomplizierter Kronenfraktur des Zahnes 11; **a)** Situation 3 Tage nach Trauma mit adhäsiver Versorgung der Dentinwunde alio loco ca. 2 h nach Unfall; **b)** sechs Tage nach Trauma erfolgt der definitive Kompositaufbau. Ein lichthärtendes Kalziumhydroxidpräparat kommt bei Reduktion des primären „Wundverbandes“ zum Vorschein; **c)** Kompositaufbau; **d)** Röntgenaufnahme zum Ausschluss weiterer Frakturen; **e)** Kontrollaufnahme 2 Jahre nach Trauma. Radiologisch ist ein abgeschlossenes Wurzellängenwachstum erkennbar.

Figure 1 Nine-year-old patient with uncomplicated crown fracture of the tooth 11; **a)** situation 3 days after trauma; adhesive dentine covering applied within the emergency treatment alio loco about 2 hours after accident; **b)** six days after trauma; a light-curing calcium hydroxide cement appears during the reduction of the primary „wound“ treatment; **c)** resin restoration; **d)** periapical radiography to exclude additional fractures; **e)** the control radiography 2 years after trauma presents a complete root formation and a closed apex.

oder MTA) abgedeckt und bakterien-dicht verschlossen werden („direkte Überkappung“). Die Größe der „Wundfläche“ spielt hierbei keine Rolle.

Wird der Zahnhartsubstanzdefekt schließlich dauerhaft bakterien-dicht restauriert, stehen die Erfolgchancen einer partiellen Pulpotomie bei über 90 % [9,15]. Dies gilt sowohl für Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzellängenwachstum („offener Apex“) als auch für solche mit abgeschlossenem apikalen Wurzelwachstums.

3.2 Kronen-Wurzelfraktur

Kronen-Wurzelfrakturen stellen bei der Therapie in erster Linie eine Herausforderung aufgrund der kompromittierten parodontalen Situation dar. Ist die Restaurierbarkeit aus parodontaler Sicht gegeben, wird eine eröffnete Pulpa in gleicher Form wie im Kapitel 3.1 beschrieben behandelt. Ist jedoch eine ausreichende adhäsive Befestigung des koro-

nalnen Defekts nicht mehr möglich oder ist aufgrund der partiell intraalveolär verlaufenden Fraktur eine intentionelle Replantation (= intraalveoläre Transposition) sinnvoll, ist eine Wurzelkanalbehandlung (z.B. zur zusätzlichen intrakanalären Verankerung) unumgänglich.

3.3 Wurzelfraktur

Intraalveoläre Wurzelfrakturen (früher Wurzelquerfraktur) sind bei bleibenden Zähnen eher selten und weisen meistens einen horizontalen oder schrägen Frakturverlauf im mittleren oder apikalen Wurzeldrittel auf. Es können gelegentlich auch untypische Frakturverläufe festgestellt werden. Aufgrund des schrägen Verlaufs bleibt der Frakturspalt oftmals radiologisch unentdeckt. Bei Verdacht auf eine intraalveoläre Fraktur sollte deshalb eine zusätzliche, kranial (ggf. kaudal) exzentrische Röntgenaufnahme angefertigt werden.

Bei sachgerechter Reposition und Schienung des koronalen Fragmentes ist ein Überleben der Pulpa in 80 % der Fälle gegeben [12]. Insbesondere bei großem Durchmesser des Wurzelkanals auf Höhe der Frakturstelle ist eine Regeneration der pulpalen Strukturen im koronalen Fragment zu erwarten. Vor diesem Hintergrund stellt eine initial fehlende Reaktion auf den Sensibilitätstest nach dem Trauma primär keine Indikation für eine endodontische Intervention dar.

Der Verlauf wird in der Regel anhand von Röntgenbildern nach 3 und 6 Monaten verfolgt und liefert je nach Muster wichtige indirekte Informationen über den Pulpastatus [3]. Fällt der Sensibilitätstest nach 6 Monaten negativ aus oder liegen eindeutige Zeichen einer infizierten Pulpanekrose vor (z.B. laterale Aufhellung auf Höhe des Bruchspaltes – mit oder ohne Fistel, deutlicher Perkussionsschmerz nach schmerzfreiem Intervall) muss eine Wurzelkanalbehandlung des koronalen Fragments eingeleitet werden. Die Pulpa des apikalen Fragments bleibt üblicherweise vital und obliteriert in der Folge. Das apikale Fragment bedarf daher keiner zusätzlichen endodontischen Therapie (Abb. 2). In seltenen Fällen „entfernt“ sich das apikale Fragment von dem koronalen Fragment und es bildet sich eine „Knochenbrücke“ zwischen diesen aus.

Das Vorgehen der Wurzelkanalbehandlung erfolgt analog dem Protokoll für Zähne mit offenem Apex (siehe Kapitel 5), da auf Höhe der Fraktur eine solche Situation im weiteren Sinn entsteht. Die 10-Jahres-Überlebenseaussichten eines Zahnes mit einer auf das koronale Fragment limitierten Wurzelkanalbehandlung liegen für Frakturen im apikalen Drittel bei 89 %, im mittleren Drittel bei 78 % und im zervikalen Drittel bei 67 %. Einzig zervikal lokalisierte Frakturen haben eine ungünstige 10-Jahres Überlebensrate von nur 33 % [3].

3.4 Laterale Dislokation

Lateral dislozierte Zähne junger Patienten weisen bei geringer Auslenkung (< 2 mm) eine hohe Pulpaüberlebenschance auf und bedürfen keiner Wurzelkanalbehandlung im Rahmen der Erstversorgung. Allerdings ist das Ausmaß der Auslenkung nicht immer klinisch ersichtlich. Ein dislozierter Zahn kann auch spontan durch die Zunge oder



Abbildung 2 Siebenjähriger Patient mit intraalveolärer Wurzelfraktur nach einem Sportunfall; **a)** Die Pfeile weisen auf die ausgeprägte laterale Läsion auf Höhe des Frakturspaltes hin; **b)** Situation 6 Monate nach Beginn der Wurzelkanalbehandlung des koronalen Fragments alio loco; das apikale Fragment bleibt unangetastet; **c)** „One-Visit-Apexifikation“ mit MTA und anschließender Wurzelkanalfüllung mit erwärmter Guttapercha; **d)** Situation 3 Jahre nach Beginn der WKB des koronalen Fragments. Das apikale Fragment zeigt eine deutliche Längen- und Dickenzunahme als Folge einer vitalen apikalen Pulpa (Pfeil).

Figure 2 Seven-year-old patient with an intra-alveolar root fracture; **a)** arrows indicate the lateral lesion close to the fracture gap; **b)** Situation 6 months after beginning of the root canal treatment of the coronal fragment alio loco; the apical portion remains untreated; **c)** „one-visit-apexification“ with MTA and subsequent root canal filling with warm gutta-percha; **d)** situation 3 years after beginning of the root canal treatment of the coronal fragment. The apical fragment shows a significant increase in length and thickness compared to the baseline radiography caused by vital apical pulp tissue (arrow).



Abbildung 3 Zustand nach Dislokation der Zähne 12 und 11; **a)** Röntgenbild mit einer ausgeprägten periradikulären Läsion um den Zahn 12; der Guttaperchastift markiert den Fistelkanal; **b)** im Vergleich zu Zahn 21 ist das Wurzelwachstum an Zahn 11 ausgeblieben; **c)** Situation nach Wurzelkanalbehandlung; Zahn 11 weist eine gräuliche Verfärbung im Zahnalsbereich auf, die vermutlich auf das MTA zurückzuführen ist; **d)** Radiologische Verlaufskontrolle nach 3,5 Jahren mit vollständiger Ausheilung der periradikulären Läsion.

Figure 3 Situation after dislocation of the teeth 12 and 11; **a)** radiographic illustration of the sinus tract with a gutta-percha point ending in a pronounced periradicular lesion around tooth 12; **b)** missing root formation of the tooth 11 compared to the tooth 21; **c)** situation after root canal treatment; the grayish discoloration in the cervical area might be caused by the MTA placement; **d)** radiographic follow-up after 3.5 years; a complete healing of the periradicular lesion is present.

durch den Patienten selbst „zurückgedrückt“ worden sein. Hier hilft eine gezielte Anamnese weiter. Unter diesen Umständen ist die pulmale Heilung oftmals schwer abzuschätzen und erfordert

engmaschige Kontrollen innerhalb der ersten 12 Monate, um Anzeichen einer Pulpanekrose möglichst frühzeitig diagnostizieren zu können. Der betroffene Zahn sollte nach 3, spätestens nach

6 Monaten auf den thermischen oder elektrischen Sensibilitätstest reagieren. Weitere Hinweise auf eine Pulpanekrose sind allmählich auftretende gräuliche Verfärbung oder bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum ausbleibendes Wurzelwachstum (Abb. 3). Positive Perkussion, apikaler Palpationsschmerz und periapikale Veränderungen im Röntgenbild weisen auf eine apikale Parodontitis hin. In diesen Fällen ist eine sofortige Wurzelkanalbehandlung indiziert. Infektionsbedingte externe Resorptionen sind eher selten anzutreffen.

Das Risiko einer Pulpanekrose hängt u.a. vom Stadium des Wurzelwachstums ab. Weist ein lateral dislozierter Zahn eine zusätzliche Kronenfraktur auf, steigt das Risiko für eine Pulpanekrose von 5 % auf 40 % bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum bzw. von 65 % auf 93 % bei Zähnen mit abgeschlossenem Wurzelwachstum [18]. Ist hingegen eine Zunahme des Wurzelwachstums auf den Röntgenbildern im Verlauf erkennbar oder zeichnet sich eine Pulpaobliteration ab (klinisch häufig als gelbliche Verfärbung der Krone bemerkbar), ist von einer vitalen Pulpa auszugehen, die keiner weiteren Therapie bedarf.

Bei einer Auslenkung eines Zahnes mit abgeschlossenem Apex von mehr als 2 mm ist aufgrund der sehr eingeschränkten Prognose eine Wurzelkanalbehandlung im Rahmen der Initialbehandlung während der Schienungszeit von 4 Wochen empfehlenswert. Als intrakanaläre Einlage ist nach Wurzelkanalaufbereitung ein Kortikoidpräparat vorzuziehen. Es wird von einer günstigen Wirkung auf das traumatisch geschädigte Parodont ausgegangen ebenso wie die Verordnung eines Doxzyklinpräparats über 10 Tage [14].

3.5 Extrusion

Ein extrudierter Zahn wird im Hinblick auf die endodontischen und parodontalen Aspekte in gleicher Form therapiert wie ein lateral dislozierter Zahn. Auch hier ist das Maß der Extrusion (< 2 mm) – sofern feststellbar – und das Stadium des Wurzelwachstums entscheidend für das Risiko einer Pulpanekrose. Dieses wird bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum mit 6 % (ohne zusätzliche Kronenfraktur) und für Zähne mit

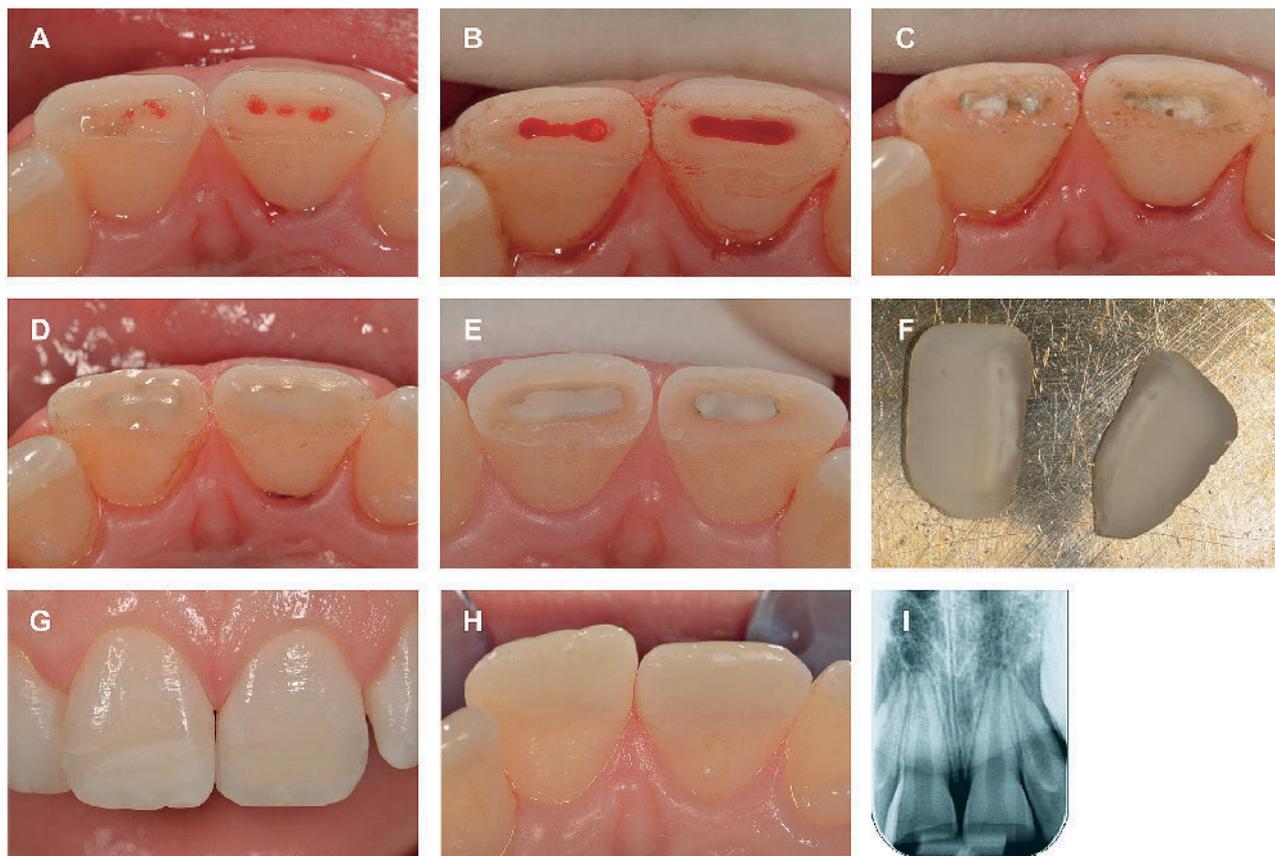


Abbildung 4 Neunjähriger Patient mit komplizierten Kronenfrakturen der Zähne 11 und 21 nach einem Kick-Board-Unfall; **a)** Situation ca. 4 h nach Trauma mit Pulpaaeröffnungen an beiden Zähnen; **b)** Zustand nach partieller Pulpotomie und erfolgreicher Blutstillung; **c)** Abdeckung der Pulpawunden mit einem Kalziumhydroxidpräparat; **d)** Überdeckung des wasserlöslichen Kalziumhydroxidpräparats mit einem lichthärtenden Kalziumhydroxidzement (Ultrablend Plus) und fließfähigem Komposit; **e)** klinisch unauffällige Situation 6 Tage nach Trauma; minimale zirkuläre Schmelzabschrägung und „Reinigung“ der Oberflächen mit Aluminiumoxid; **f)** Die Zahnfragmente wurden zwischen Erstbehandlung und Wiederbefestigung in steriler physiologischer Kochsalzlösung gelagert; **g-h)** bukkale und palatinale Ansicht der adhäsiv befestigten Zahnfragmente mit Komposit; **i)** Röntgenkontrollaufnahme.

Figure 4 Nine-year-old patient with complicated crown fractures of the teeth 11 and 21; **a)** situation about 4 hours after the accident; both teeth exhibit pulpal involvement; **b)** situation after partial pulpotomy and successful hemostasis; **c)** calcium hydroxide covering the artificial pulp wounds; **d)** light-curing calcium hydroxide cement (Ultrablend Plus) and flowable resin serve as bacterial tight seal until definitive restoration; **e)** six days after trauma; minimal preparation and cleaning of the surfaces with aluminum oxide; **f)** storage of the tooth fragments in sterile physiological saline until reattachment; **g-h)** buccal and palatal view of the adhesively attached tooth fragments; **i)** control radiography.

vollständigem Wurzelwachstum mit 57 % angegeben. Ein erhöhtes Risikos mit nahezu 77 % konnte bei abgeschlossenem Wurzelwachstum und zusätzlichen Kronenverletzungen festgestellt werden [18].

3.6 Intrusion

Intrusionsverletzungen weisen multiple und zumeist schwerwiegende Schäden an Parodont, Pulpa und umgebenden Alveolarknochen auf. Das Ausmaß der Intrusion als Hinweis auf die parodontale Schädigung als wichtigsten prognostischen Parameter ist klinisch sicher feststellbar. In schwe-

ren Fällen gibt nur das Röntgenbild Auskunft über die tatsächliche Lage des intrudierten Zahnes. Bei unvollständigem Wurzelwachstum ist bei Kindern und Jugendlichen unter 17 Jahren ein Spontandurchbruch abzuwarten [4], wobei bei etwa in 55 % der Fälle mit einer „Revitalisierung“ der Pulpa gerechnet werden kann. Ist das Wurzellängenwachstum jedoch abgeschlossen, ist die Überlebenswahrscheinlichkeit der Pulpa nicht mehr gegeben [21]. In diesem Falle ist eine möglichst umgehende, „präventive“ Wurzelkanalaufbereitung indiziert, um später einsetzende, infekti- onsbedingte Resorptionen zu vermei-

den. Vor diesem Hintergrund ist eine chirurgische Reposition – im Gegensatz zur orthodontischen Einstellung des Zahnes – eine Maßnahme, welche die Durchführung der Wurzelkanalaufbereitung zu einem frühen Zeitpunkt ermöglicht. Sofern es die patientenbezogenen Umstände erlauben, sollten Trepanation und medikamentöse Einlage noch am Unfalltag erfolgen. Ohne Zweifel sind hier Kompromisse einzugehen, da bei hoher Intrusion der Zugang zum Endodont sehr erschwert sein kann.

Durch die ausgedehnte Zement-schädigung bei schwerer Intrusion und des daraus resultierenden hohen

Resorptionsrisikos sind entzündungshemmende und antiresorptiv wirkende, intrakanalär eingebrachte Medikamente während der ersten 2 Wochen nach Trauma unabdingbar. Kortikoidhaltige Medikamente wie z.B. Ledermix stehen hierbei im Vordergrund. Es folgt ein Einlagewechsel mit Kalziumhydroxid. Unerwünschte Zahnverfärbungen durch Ledermix sind gelegentlich zu beobachten. Auch bei rechtzeitiger und adäquater endodontischer Intervention verbleibt das Risiko von Ersatzresorptionen und einer damit einhergehenden Ankylose.

3.7 Avulsion

Die Behandlung einer Avulsion wird an anderer Stelle in diesem Heft ausführlich erläutert. In nahezu allen Fällen ist eine „präventive“ und umgehend durchzuführende Wurzelkanalbehandlung als wichtige Maßnahme zur Senkung des Risikos infektionsbedingter externer Resorptionen angezeigt.

4 Partielle Pulpotomie – klinisches Vorgehen

Die partielle Pulpotomie gilt als Therapie der Wahl bei Kronenfrakturen mit Pulpabeteiligung, die innerhalb der ersten 2 h unversorgt blieb oder nicht adäquat versorgt wurde.

Selbst nach einer Expositionszeit von bis zu 48 h zeigen Untersuchungen am Affen, dass die irreversibel geschädigte und oberflächlich infizierte Region nur etwa auf die koronalen 2 mm der Pulpa beschränkt bleibt [11].

Nach Lokalanästhesie ist das Anlegen von Kofferdam inklusive der Desinfektion der unmittelbaren Umgebung anzuraten, um einerseits die Bakterienlast so gering wie möglich zu halten und andererseits bei kleinen Patienten die Pulpawunde vor weiterer Kontamination durch Speichel zu schützen. Mittels einer sterilen, grobkörnigen Diamantwalze werden die koronalen Pulpaanteile bis zu einer Tiefe von 2 mm hochtourig unter kontinuierlicher Wasserkühlung (idealerweise physiologische Kochsalzlösung) entfernt – mit dem Ziel, auf eine weitgehend gesunde und regenerationsfähige Pulpa zu stoßen. Im Anschluss

folgt die Blutstillung mit einem in Natriumhypochlorit (1 %) getränkten Wattepellet, das mit leichtem apikalen Druck auf die pulpotomierte Stelle gedrückt wird. Ist die verbliebene Pulpa gesund, wird eine pulpale Blutung innerhalb von 1 bis max. 5 min sistieren. Sollte keine Blutstillung eintreten, muss die Pulpotomie weiter nach zervikal ausgedehnt werden. Die artifizial geschaffene Wundfläche wird mit einem Kalziumhydroxidpräparat (Frontzahnbereich!) abgedeckt und mit einem lichterhärtenden Kalziumhydroxidzement überdeckt. Dies ermöglicht die sofortige Anwendung der Adhäsivtechnik zur Überschichtung von Kalziumhydroxidpräparaten z.B. mit einem fließfähigen Komposit. Die postoperative Röntgenkontrollaufnahme dient als Referenz zur Beurteilung des Pulpa-Dentin-Komplexes im Zuge nachfolgender Kontrolltermine (Abb. 4).

Aus biologischer Sicht kann auch ein MTA-Präparat zur direkten Pulpaabdeckung gewählt werden. Die Verwendung von MTA im Frontzahnbereich ist mit einem hohen Verfärbungsrisiko und unerwünschten ästhetischen Einbußen korreliert, insbesondere, wenn sich Blutbestandteile aus der Wundfläche mit MTA mischen [19].

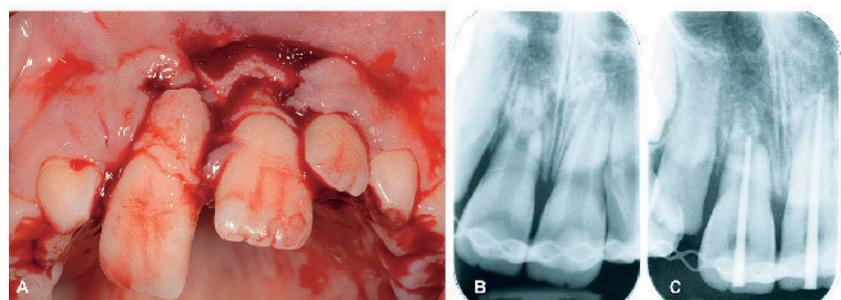


Abbildung 5a) Achtjähriger Patient mit komplizierten Dislokations- und Frakturverletzungen der Zähne 11 und 21; **b)** die Röntgenaufnahme unmittelbar nach Reposition belegt die intraalveoläre Fraktur im apikalen Wurzeltrittel; **c)** Beginn der WKB aufgrund der großen Auslenkung (Extrusion > 2 mm). Nicht reproduzierbare endometrische Längenmessungen erforderten eine frühe Röntgen-Mess-Aufnahme mit einem Guttaperchastift (Größe 60) mit einer anschließenden Anpassung der Arbeitslängen auf minus 2 mm bei beiden Zähnen.

Figure 5a) Eight-year-old patient with complicated dislocation- and fracture injuries of the teeth 11 and 21; **b)** the radiography subsequent after reposition and splinting proves the intra-alveolar fracture in the apical third; **c)** beginning of the root canal treatment due to the massive dislocation; inaccurate endometric measurements required an early radiographic length detection with a gutta-percha master cone (size 60); an adjustment of the length minus 2 mm was applied in the following treatment.

5. Wurzelkanalbehandlung bei unvollständigem Wurzelwachstum

Ist eine Wurzelkanalbehandlung bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum notwendig, sind einige wichtige Aspekte zu berücksichtigen.

5.1 Vorbereitung und Zugangskavität

Die präoperative Röntgenaufnahme gibt im Zusammenhang mit jugendlichen Zähnen Auskunft über Wurzelpulpalumen, Wurzelkanalwandstärke sowie Ausdehnung der Kronenpulpa in mesio-distaler Richtung und Größe des apikalen Foramens.

Vor Behandlungsbeginn empfiehlt sich generell eine Lokalanästhesie, um Schmerzen durch Irritation von noch sensiblen Pulparesten oder von apikal bereits eingewachsenem vitalen Gewebe zu vermeiden. Die Zugangskavität richtet sich primär nach der Größe der Pulpakammer. Gerade bei jugendlichen Zähnen ist diese sowohl in mesio-distaler als auch in bucco-oraler Richtung weit ausgedehnt. Dies erfordert einen größeren Zahnhartsubstanzverlust als üblicherweise notwendig, erleichtert jedoch in der Folge die adäquate Durch-

führung der weiteren Behandlungsschritte.

5.2 Wurzelkanal desinfektion

Speziell bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum und dünnen, fragilen Dentinwänden spielt die Wurzelkanal desinfektion eine zentrale Rolle; die mechanische Aufbereitung tritt in den Hintergrund. Sobald nach elektrometrischer Längenmessung sämtliches Gewebe (nekrotisches oder infiziertes Pulpagewebe, eingewachsenes Granulationsgewebe etc.) mittels entsprechender Handfeilen vorsichtig entfernt werden konnte, ist auf eine exzessive zusätzliche mechanische Bearbeitung der Dentinwände zu verzichten. Die Verwendung eines Operationsmikroskops erleichtert zudem die Beurteilung des Wurzelkanals und interner Resorptionsvorgänge und erlaubt eine visuelle Kontrolle während der Behandlung mit Blick bis auf das apikale Gewebe. Nichtsdestotrotz sollte möglichst zu diesem Zeitpunkt eine radiologische Längenkontrolle erfolgen (z.B. mit einem ausreichend großen Guttaperchastift). Dies gilt umso mehr, wenn die vorgängige endometrische Längenbestimmung unzuverlässige Werte (bei wiederholter Messung) liefert (Abb. 5).

Eine ausgiebige Wurzelkanal desinfektion mit gewebeauflösender Wirkung ist der wichtigste Bestandteil im Rahmen der Wurzelkanalaufbereitung bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum. Nach heutigem Wissensstand kann dies suffizient mit einer aktivierten Natriumhypochloritpflung (z.B. 1%) erreicht werden. Die passive Ultraschallaktivierung (PUI) steht hierbei im Vordergrund. Im Vergleich zu anderen dynamischen Spflmethoden entsteht bei einer freischwingenden Ultraschallspitze eine hauptsächlich nach lateral gerichtete Spflaktivierung. Dies soll die Gewebeauflöfung in großlumigen Wurzelkanälen und die Desinfektion bis in Seitenkanäle unter Schonung der apikalen Gewebe ermöglichen. Als vorletzte Spflung empfiehlt sich für die Entfernung des „Smear layers“ die Anwendung von EDTA (17%). Eine abschließende, ebenfalls ultraschallaktivierte (z.B. 3 × 20 sec) Abschlusspflung mit Natriumhypochlorit (1%) stellt den letzten Schritt bei der Wurzelkanalaufbereitung dar.

Zur Prävention der Überpflung von Spflflüssigkeit zählen ein geringer Stempeldruck und die konsequente Längeneinstellung der Spflkanülen sowie Ultraschallspitzen (Arbeitslänge minus 1 mm). Unter Beachtung dieser Punkte ist die Verwendung von Natriumhypochlorit auch bei Zähnen mit weit offenem Foramen bedenkenfrei. Eine Verblockung des Wurzelkanals durch die Spflkanüle ist aufgrund des großen Querschnitts des Kanals im Vergleich zur Spflkanüle äußerst unwahrscheinlich. Dieser Größenunterschied sichert den Rückfluss der Spflflöfung aus dem Wurzelkanal.

5.3 Intrakanaläre (medikamentöse) Einlage

Es gibt nur wenige Indikationen, die eine sogenannte „medikamentöse Einlage“ – im Wesentlichen aus parodontaler Sicht – erforderlich machen. Auf eine intrakanaläre Einlage wird nach wie vor zurückgegriffen, wenn die Wurzelkanalbehandlung aus zeitlichen Gründen nicht in einer Sitzung durchführbar ist. Kalziumhydroxid zählt in diesen Fällen nach wie vor als Goldstandard. Gerade bei großlumigen Kanälen erleichtert ein bereits vorgefertigtes Präparat in einer Applikationsspritze (z.B. Ultracal) das Einbringen.

Bei allen Zahnverletzungen, die mit einer massiven parodontalen Schädigung einhergehen (Intrusion, Avulsion, ausgeprägte Dislokation v.a. nach palatinal), wird die Wurzelkanalbehandlung im Sinne einer „präventiven Behandlung“ frühzeitig eingeleitet, um das Risiko einer infektionsbedingten externen Resorption so gering wie möglich zu halten. In solchen Situationen haben sich antiresorptive und regenerationsfördernde Therapiekonzepte (ART) etabliert. Dazu gehört eine sofortige Wurzelkanalaufbereitung im Zuge der Erstbehandlung und eine medikamentöse kortikoidhaltige Einlage, i.d.R. Ledermix, das 2 Wochen im Wurzelkanal verbleibt. Diese soll möglichst volumenfüllend eingebracht werden. Ein Nachteil von Ledermix sind gelb-bräunliche Zahnverfärbungen, die bei unsachgerechter Anwendung bereits nach 2–3 Wochen klinisch in Erscheinung treten. Daher soll die Applikation konsequenterweise auf den Wurzelkanal beschränkt werden; das Medikament soll

nicht im Pulpakavum zurückbleiben. Nach 2 Wochen kann die Einlage durch Kalziumhydroxid ersetzt werden.

Gerade bei Zähnen mit dünnen Dentinwänden ist die provisorische Versorgung während der Zeit der medikamentösen/intrakanalären Einlage in Bezug auf das Frakturrisiko kritisch. Kann die Wurzelkanalbehandlung nicht zeitnah abgeschlossen werden und verbleibt die intrakanaläre Einlage für längere Zeit, ist ein adhäsiver Verschluss mit Komposit einer „einfachen“ provisorischen Füllung vorzuziehen.

5.4 Wurzelkanalfüllung mit „One-Visit-Apexifikation“ (MTA Plug)

Die heutigen Techniken ermöglichen unter entsprechender Sicht die Bildung eines apikalen Stopps mit MTA in einer Sitzung, sodass die Wurzelkanalfüllung zeitnah abgeschlossen und der Zahn adhäsiv restauriert werden kann. Dieses Verfahren ersetzt heutzutage i.d.R. die traditionelle Apexifikation nach Cvek, bei der die Bildung einer natürlichen Hartgewebsbarriere mittels langfristiger Kalziumhydroxideinlagen angestrebt wurde. Eine Einlagedauer (Zeitraum bis zur Wurzelkanalfüllung) von durchschnittlich 24 Monaten ist hierzu erforderlich [10]. Zudem traten bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum aufgrund der z.T. dünnen Wurzeldentinwände zervikale Frakturen in bis zu 77 % der Fälle auf [10].

Mit MTA steht ein biokompatibles Material zum apikalen Verschluss für weitlumige Wurzelkanäle zur Verfügung [5, 7, 8]. MTA wird nach Entfernung der Kalziumhydroxideinlage und Trocknung des Wurzelkanals mit geeigneten Pluggern in Inkrementen apikal platziert und vorsichtig kondensiert. Die zielgenaue Applikation von MTA ist allerdings techniksensitiv und schwierig. Applikationshilfen wie beispielsweise das Micro-Apical-Placement System (MAP) und die Verwendung eines Operationsmikroskops erlauben ein sicheres und vorhersehbares Arbeiten. Der apikale MTA-Plug sollte idealerweise eine Dicke von 3–5 mm aufweisen.

MTA dient als mechanische Barriere für die nachfolgende Wurzelkanalfüllung. Mit erwärmter Guttapercha

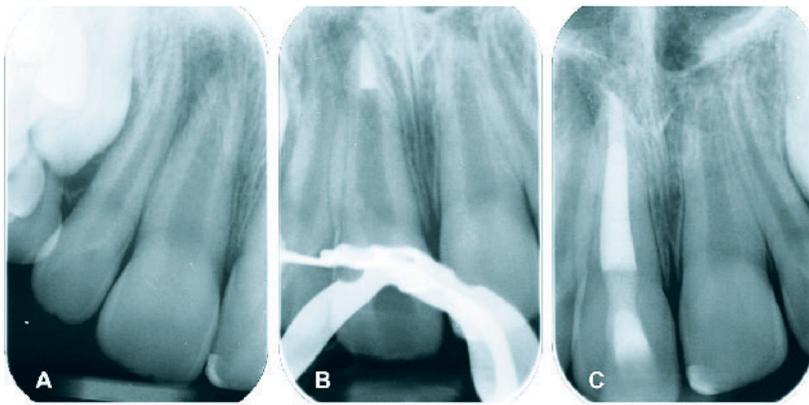


Abbildung 6 Unkomplizierte Kronenfrakturen an den Zähnen 11 und 21 bei einem 10-jährigen Patienten; **a)** Situation 2 Jahre nach Unfall; periapikale Aufhellung und starke Klopfempfindlichkeit des Zahnes 11 bei unvollständigem Wurzelwachstum geben die Indikation zur Wurzelkanalbehandlung; **b)** Radiologische Kontrolle des MTA-Stopps („One-Visit-Apexifikation“); **c)** Wurzelkanalfüllung mit erwärmter Guttapercha sowie Verschluss der Zugangskavität und des zervikalen Kanalanteils mittels Komposit.

Figure 6 10-year-old patient with uncomplicated crown fractures of the teeth 11 and 21; **a)** periapical lesion of the tooth 11 with incomplete root formation 2 years after trauma; **b)** radiographic control of the “one-visit-apexification” with MTA; **c)** root canal filling with warm gutta-percha and subsequent closure of the access cavity and the cervical portion of the root channel with composite resin.

(Tab. 1; Abb. 1a, 2, 3, 5b,c) L. K. Zaugg¹, R. Weiger¹; Abb. 1b-e) Dr. Julia Bühler¹; Abb. 4) Dr. Marc Zehnder¹; Abb. 5a) Dr. Inga Mollen²; Abb. 6) Dr. Mauro Amato¹

¹ Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kariologie, Universitätskliniken für Zahnmedizin Basel

² Klinik für Zahnärztliche Chirurgie, -Radiologie, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätskliniken für Zahnmedizin Basel)

und einem Sealer ist es möglich, den verbliebenen weitlumigen Kanal zügig und dicht zu verschließen. Der Verschluss der Trepanationsöffnung erfolgt mittels der Adhäsivtechnik mit Komposit. Bei sehr schmalen Dentinwänden empfiehlt sich die Extension des Komposits in den zervikalen Teil des Wurzelkanals hinein (Abb. 6).

6 Revitalisierung

Bei ausreichend großem apikalen Foramen („weit offener Apex“) und kurzer extraoraler Aufbewahrung (< 15 min)

kann die Pulpa eines avulsierten oder transplantierten Zahns ohne weitere Intervention revaskularisiert und umgebaut werden.

Tritt eine infizierte Pulpanekrose (z.B. mit periapikaler Aufhellung) als Spätfolge eines Zahntraumas auf und sistiert aufgrund dessen das Wurzelwachstum, kann anstatt einer konventionellen Wurzelkanalbehandlung eine sogenannte „Revitalisierung“ in Betracht gezogen werden. Voraussetzung hierfür ist unter anderem, dass das Parodont – sofern durch das Trauma geschädigt – sich in dieser Zeit wieder regeneriert hat. Nach wie vor stellt das

Protokoll von Branchs und Trope [6] für die Revitalisierung die Behandlungsgrundlage dar. Allerdings liegen neuere, jedoch zum Teil widersprüchliche Erkenntnisse im Hinblick auf die detaillierte Vorgehensweise (Art und Konzentration der Spüllösung, Art der medikamentösen/antibiotischen Einlage, Verwendung von MTA bzw. Ca(OH)₂ etc.) vor, sodass bestehende Richtlinien zur Revitalisierung zum jetzigen Zeitpunkt sich kurzfristig ändern können. Vor diesem Hintergrund sollten derzeit Patienten, bei denen eine Revitalisierung in Frage käme, an spezialisierte KollegInnen mit entsprechendem Know-how überwiesen werden.

Danksagung

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle herzlich bei Herrn Dr. Marc Zehnder, Herrn Dr. Mauro Amato, Frau Dr. Julia Bühler und Frau Dr. Inga Mollen für die grafische Mitwirkung und Bereitstellung von Bildmaterial bedanken. DZZ

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

Korrespondenzadressen

Dr. med. dent. Lucia K. Zaugg
Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kariologie
Universitätskliniken für Zahnmedizin der Universität Basel
Hebelstrasse 3, CH-4056 Basel
lucia.zaugg@unibas.ch
Prof. Dr. med. dent. Roland Weiger
Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kariologie und Zahnunfall-Zentrum
Universitätskliniken für Zahnmedizin der Universität Basel
Hebelstraße 3, CH-4056 Basel
roland.weiger@unibas.ch

Literatur

- About I, Murray PE, Franquin JC, Remusat M, Smith AJ: The effect of cavity restoration variables on odontoblast cell numbers and dental repair. *J Dent* 2001;29:109–117
- Andersson L, Andreasen JO, Day P et al.: International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dent Traumatol* 2012;28: 88–96
- Andreasen JO, Ahrensburg SS, Tsilingaris G: Root fractures: the influence of type of healing and location of fracture on tooth survival rates – an analysis of 492 cases. *Dent Traumatol* 2012;28: 404–409
- Andreasen JO, Bakland LK, Andreasen FM: Traumatic intrusion of permanent teeth. Part 3. A clinical study of the ef-

- fect of treatment variables such as treatment delay, method of repositioning, type of splint, length of splinting and antibiotics on 140 teeth. *Dent Traumatol* 2006;22:99–111
5. Bakland LK, Andreasen JO: Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dent Traumatol* 2012;28:25–32
 6. Banchs F, Trope M: Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J Endod* 2004;30:196–200
 7. Batur YB, Erdemir U, Sancakli HS: The long-term effect of calcium hydroxide application on dentin fracture strength of endodontically treated teeth. *Dent Traumatol* 2013;29:461–464
 8. Bonte E, Beslot A, Boukpepsi T, Lasfargues JJ: MTA versus Ca(OH) in apexification of non-vital immature permanent teeth: a randomized clinical trial comparison. *Clin Oral Investig* 2015;19:1381–1388
 9. Cvek M: A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *J Endod* 1978;4:232–237
 10. Cvek M: Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Endod Dent Traumatol* 1992;8:45–55
 11. Cvek M, Cleaton-Jones PE, Austin JC, Andreasen JO: Pulp reactions to exposure after experimental crown fractures or grinding in adult monkeys. *J Endod* 1982;8:391–397
 12. Cvek M, Tsilingaridis G, Andreasen JO: Survival of 534 incisors after intra-alveolar root fracture in patients aged 7–17 years. *Dent Traumatol* 2008;24:379–387
 13. Diangelis AJ, Andreasen JO, Ebeleseder KA et al.: International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations of permanent teeth. *Dent Traumatol* 2012;28:2–12
 14. Ferrazzini Pozzi EC, von Arx T: Pulp and periodontal healing of laterally luxated permanent teeth: results after 4 years. *Dent Traumatol* 2008;24:658–662
 15. Fuks AB, Cosack A, Klein H, Eidelman E: Partial pulpotomy as a treatment alternative for exposed pulps in crown-fractured permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:100–102
 16. Glendor U: Epidemiology of traumatic dental injuries – a 12 year review of the literature. *Dent Traumatol* 2008;24:603–611
 17. Krastl G, Filippi A, Weiger R: German general dentists' knowledge of dental trauma. *Dent Traumatol* 2009;25:88–91
 18. Lauridsen E, Hermann NV, Gerds TA, Ahrensburg SS, Kreiborg S, Andreasen JO: Combination injuries 3. The risk of pulp necrosis in permanent teeth with extrusion or lateral luxation and concomitant crown fractures without pulp exposure. *Dent Traumatol* 2012;28:379–385
 19. Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G: Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. *Int Endod J* 2012;45:942–949
 20. Pistner HN, Nolte D, Auras S, et al.: S2k-Leitlinie zur Therapie des dentalen Traumas bleibender Zähne. 2015. URL: http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-004l_S2k_Dentales_Traume_bleibende_Z%C3%A4hne_Therapie_2015-06.pdf
 21. Tsilingaridis G, Malmgren B, Andreasen JO, Malmgren O: Intrusive luxation of 60 permanent incisors: a retrospective study of treatment and outcome. *Dent Traumatol* 2012;28:416–422